

**ESTUDIO DEL RECICLAJE DE RESIDUOS DE
BAYETA DE MICROFIBRA COMO MATERIAL
DE ADICIÓN AL YESO. PROPUESTA DE
PRODUCTO Y SIMULACIÓN DE CASO
PRÁCTICO DE SU USO.**

**Grado en Arquitectura, plan 2012:
Trabajo Fin de Grado
Curso 2018-2019
Grupo H**

Tutor: Enrique D. Fernández Nieto

Autor: FRANCISCO JAVIER GÓMEZ GUADAÑO

PRÓLOGO

- **Agradecimientos**

A Dios, por todo.

A mis padres, pues sin ellos nada de esto sería posible.

A mis profesores, por su inestimable participación en mi formación.

- **Resumen**

Últimamente existe una preocupación cada vez mayor respecto a la contaminación por residuos plásticos y los perjuicios al medio ambiente y a la calidad de vida que ello conlleva. El mundo de la construcción ha ejercido un papel muy importante en la generación de este problema. Por ello, desde el mundo de la construcción y la arquitectura se pretende actuar para contrarrestar su avance empleando sus propios instrumentos.

En este documento se plantea el estudio de evaluar las posibilidades de reciclaje que ofrecería el empleo de un material residual plástico como aditivo para un mortero o pasta de yeso, siguiendo con el análisis de la viabilidad de un producto creado con este material en un caso real simulado. El residuo elegido será n trozos de bayetas de microfibra.

Palabras clave: yeso, bayeta, microfibra, reciclaje, plástico, residuo.

- **Abstract**

As of late there's been a growing concern about the contamination caused by plastic waste and the damage to the environment and the quality of life that this entails. The construction sector has played a very important role in the generation of this problem. Therefore, the world of construction and architecture intends to act in order to counter the advance of this problem by using their own tools.

This document proposes the evaluation the recycling possibilities that the use of a plastic waste as an additive for a mortar or plaster paste would offer, following up with the analysis of the viability of a product created with this material in a simulated real case. The chosen waste material will be pieces of microfiber baizes.

Keywords: plaster, baize, microfiber, recycling, plastic, waste.

ÍNDICE

-----Inicio parte realizada en colaboración con Jesús Ramírez y Óscar Castillo-----

1. INTRODUCCIÓN	(Pág. 3)
2. OBJETIVOS	(Pág. 5)
2.1. Objetivos generales	
2.2. Objetivos específicos	
3. ESTADO DE LA CUESTIÓN	(Pág. 6)
4. HIPÓTESIS DE PARTIDA	(Pág. 18)
5. METODOLOGÍA DE TRABAJO	(Pág. 19)
6. PLAN EXPERIMENTAL	(Pág. 20)
6.1. Introducción metodológica, normativa de referencia.	
6.3. Probetas, adaptación a los ensayos, dosificaciones.....	(Pág. 21)
6.2. Proceso de elaboración de probetas en laboratorio.....	(Pág. 23)

-----Fin de parte realizada en colaboración con Jesús Ramírez y Óscar Castillo-----

6.4. Ensayos de caracterización	(Pág. 29)
6.4.1. Ensayos densidad aparente	
6.4.2. Ensayos de comportamiento mecánico.....	(Pág. 32)
6.4.3. Ensayos de comportamiento acústico.....	(Pág. 41)
7. DISCUSIÓN RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS	(Pág. 45)
7.1 Análisis de la densidad frente a la flexión	(Pág. 46)
7.2 Análisis de la densidad frente a la compresión	(Pág. 48)
7.3 Análisis de valores mecánicos medios	(Pág. 50)
7.4 Análisis de la dosificación frente a la absorción acústica.	(Pág. 53)
7.5 Conclusiones y elección del material.....	(Pág. 57)
8. DISEÑO PRODUCTO PROPUESTO	(Pág. 60)
8.1. Producto de referencia	
8.2. Definición del producto propuesto.....	(Pág. 65)
9. APLICACIÓN DEL PRODUCTO A UN CASO PRÁCTICO	(Pág. 74)
10. DISCUSIÓN RESULTADOS Y CONCLUSIONES	(Pág. 82)
11. BILIOGRAFÍA	(Pág. 84)
12. ANEJOS	(Pág. 86)
ANEJO 1. FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO DE REFERENCIA. GYPTONE REGISTRABLE POINT 80 - A.	
ANEJO 2. PROYECTO PARA SIMULACIÓN DE CASO PRÁCTICO. CAJA GRANADA.....	(Pág. 88)
ANEJO 3. MEDICIONES DE SUPERFICIES PARA FALSOS TECHOS. CAJA GRANADA.....	(Pág. 100)

1. INTRODUCCIÓN.

*Los humanos actúan primero, piensan después, y sienten al final...
Como humano, su primer pensamiento fue "¿para qué puedo usar esto?", cuando debería haber sido "¿cuál es el precio de su uso?"*

Loghaire Thunderstone. Arcanum: Hechizos y Engranajes.

Hoy día es cada vez más patente el acuciante problema de la contaminación por residuos plásticos y sus perjudiciales consecuencias para el medio ambiente. La mácula causada en la Naturaleza por este polímero sintético derivado del petróleo tiene un origen conocido; bastante conocido. El mismo origen que el manto de tinieblas ponzoñosas acechante en nuestros cielos, con embrión temprano en las primeras ostentaciones del dominio sobre el fuego y punto álgido de gestación en el apogeo de la Revolución Industrial. El mismo origen que la desaparición total de la faz del planeta de la esbelta alca gigante, el gran dugongo de Steller o el ágil tilacino; del emblemático dodo, que en menos de una generación desde su descubrimiento pasó a formar parte del recuerdo, un recuerdo que, de no ser por los restos conservados y el testimonio escrito reconocido, se confundiría irremediablemente con el mundo de la fantasía, personificado en aquel excéntrico participante de la eterna carrera celebrada en el País de las Maravillas de Lewis Carrol. Dicho origen, como es harto conocido, se halla en la manipulación por parte del género humano de la Naturaleza, la transgresión del principio evolutivo aparentemente universal e inmutable de la adaptación, por el cual el organismo se adapta a su medio y no al contrario.

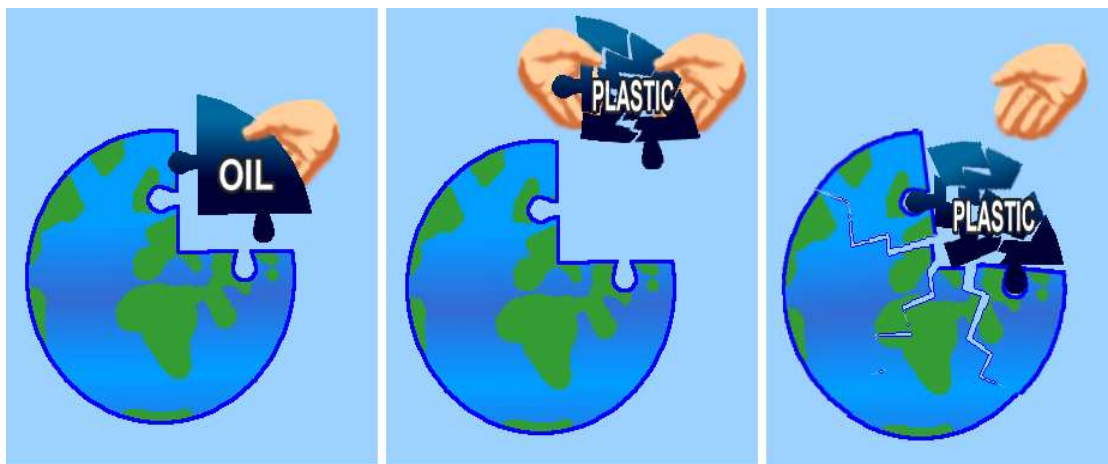


Figura 1: "Balance Breakdown"

Y no es sino la enésima manifestación del ejercicio indiscriminado y desmedido de control del hombre sobre su entorno el problema que ahora nos atañe en cuanto a los residuos plásticos, cuya producción fácil, rápida y consecuentemente masificada se enfrenta con la evidencia a posteriori de su inasumiblemente alto tiempo de descomposición y la pervivencia del mal que causa que ello implica. El caso de los productos textiles sintetizados a partir de este material es especialmente doloroso; nacían como una alternativa al histórico mal necesario de la muertes animales para obtener esa indispensable barrera contra el clima y el pudor para el ser humano y, cruel ironía del destino, finalmente resultaron ser parte de la fuente de un perjuicio potencialmente mayor para esa fauna a la que pretendía favorecer.

Mas la creciente concienciación respecto a este problema supone un reconocimiento explícito del impacto que este mandato providencial de domino sobre la creación que ejercemos puede alcanzar, y es precisamente mediante dicho dominio que podemos hallar, si no solución, sí paliación de los nocivos efectos del despiece y recombinación arbitrarios a los que hemos sometido a este gran puzzle llamado Tierra. La esperanza proporcionada por el avance de la industria del reciclaje, ese bienhadado reencauzamiento de la capacidad de influencia humana, supone un conato de redención por el perjuicio cometido. Y es ése el camino que hay que recorrer, tanto para paliar ese daño como para establecer, por sí mismo, un sistema por el que la vida útil del plástico se elongue de tal manera que participe en un ciclo en el que, desde su creación hasta su total desintegración, se evite en lo posible su conversión en materia residual. El mundo de la arquitectura y la construcción, otra de las manifestaciones del poder del hombre sobre el mundo, ofrece importantes oportunidades para el mundo del reciclaje, dada la larga vida que, por la naturaleza de su uso, poseen los materiales empleados en ella. Y es precisamente en la composición de dichos elementos constructivos donde hallarán lugar los elementos residuales que se pretenden reaprovechar. Ahí es donde se centrará el desarrollo de este documento.

2. OBJETIVOS.

2.1. Objetivos generales.

El objetivo de este documento es el estudio de un determinado residuo de producto sintético derivado del petróleo en el papel de componente de un mortero o pasta de yeso destinado a la construcción. Dicho estudio, consistente en la elaboración de probetas para pruebas de resistencia mecánica y absorción acústica, así como el análisis pormenorizado de los resultados de dichas pruebas, tendrá como objeto comprobar las propiedades que infiere el residuo elegido al material constructivo y, de este modo, determinar su viabilidad u oportunidad para dicho objetivo.

Finalmente, el documento concluirá con el diseño de un material de construcción determinado (panel separador, sobre techo... etc.) y la elaboración de una simulación con objeto de determinar la funcionalidad de dicho producto en un caso práctico, analizando cualquier beneficio energético, económico o ecológico que fuere reseñable.

2.2. Objetivos específicos.

El residuo elegido para este estudio es la **microfibra (poliéster y poliamidas)** procedente de bayetas de limpieza. En concreto, el elemento tipo seleccionado como fuente de obtención del material de adición será la bayeta tejida tipo Terry de 100% microfibra, **80% poliéster** y **20% poliamidas**, la cual resulta bastante representativa del residuo de este tipo que se podría obtener en un caso real al ser el producto más habitual de los de su clase en el mercado (seguido a cierta distancia por la bayeta no tejida, unida mediante presión de agua, de 100% microfibra, 50% poliéster y 50% poliamidas).

Por su parte, el componente principal del material constructivo será **yeso**. Por ello, se puede determinar a priori que los productos obtenidos de esta unión, con independencia de las propiedades obtenidas, será solo apto para interiores, dada la debilidad ante la humedad intrínseca del yeso.

3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

3.1. Contexto general: contaminación por derivados de hidrocarburos y estado del mundo del reciclaje en la actualidad.

Los plásticos en el entorno marino se han convertido en una preocupación primordial debido a su persistencia en el mar, así como a las consecuencias adversas para la vida marina y, potencialmente, la salud humana. Desde la creación de la baquelita, primera sustancia plástica totalmente sintética, por Leo Baekeland en 1907 [1] el plástico ha sido usado de manera progresiva a lo largo de todo el mundo para una innumerable variedad de aplicaciones, con una producción global que excede los 300 millones de toneladas al año desde 2014 [2]. Dada su durabilidad, bajo ritmo de reciclaje, deficiente control de residuos y uso marítimo, una parte significativa de los plásticos producidos en todo el mundo penetra y permanece en ecosistemas marinos [3]. Esto incluye costas, fondo marino y superficie marina de los océanos del planeta. El vertido de plásticos al medio ambiente marino ocurre a través de una variedad de vías, incluyendo transporte fluvial y atmosférico, basura en las playas y directamente al mar debido a actividades náuticas y pesqueras. [4]

Cabe mencionar el fenómeno de los microplásticos como una de las manifestaciones más significativas de esta problemática. Se trata de partículas sólidas de plástico de menos de 5mm de diámetro, insolubles en agua y de baja degradabilidad. Hallan su procedencia o bien en desechos plásticos microscópicos en origen como algunos componentes de productos cosméticos o aerosoles (los llamados microplásticos primarios), o bien en la fragmentación de productos plásticos de mayor tamaño debido a la acción del sol u otros agentes externos o debido al lavado de textiles sintéticos [5] (los llamados microplásticos secundarios), y una vez en el mar, si bien se concentran principalmente en líneas costeras, su presencia está muy extendida. El impacto de estas partículas en el ecosistema marino se estima severo; mientras que los plásticos normales (macroplásticos) causan la muerte de animales marinos por complicaciones derivadas de su ingestión o por enredamiento, que afectan a un espectro más amplio de fauna marina susceptible de ingerirlos (incluso a criaturas tan minúsculas como el zooplancton), con el peligro no sólo de la ingesta del plástico en sí, sino de los tóxicos plastificantes que desprenden y los contaminantes orgánicos persistentes, como pesticidas, que pueden transportar adheridos en ellos. Por añadidura, dada su fácil introducción y permanencia en la cadena alimenticia, pueden llegar a causar perjuicio incluso al ser humano [6]. Se considera que las fuentes terrestres (poblaciones costeras e interiores mediante ríos) son las responsables de la emisión mayoritaria de plásticos al océano, al contrario que las fuentes marítimas (actividades pesqueras y navales). Según los datos que se poseen sobre la contabilización de la contribución de vertidos por poblaciones costeras a lo largo de todo el mundo, ésta asciende a entre 4'8 y 12'7 millones de toneladas de plástico al año en todo el mundo [7], con una distribución por países:

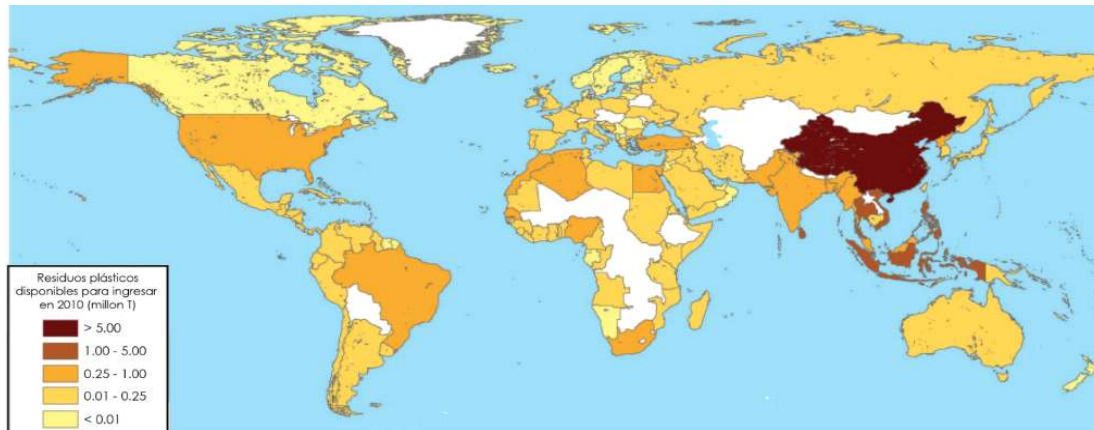


Figura 2: Mapa global con países sombreado según la masa estimada de residuo plástico no controlado (en millones de toneladas) generado en 2010 por la población residente en 50 km desde la costa. (Revista Science #347, 2015.)

Respecto a la contribución de poblaciones interiores a través de los sistemas fluviales, no se disponía de gran información hasta un exhaustivo estudio realizado por la revista *Nature* en 2017, que estima que el vertido global de residuos plásticos a través de los ríos al océano es de entre 1'15 a 2'41 millones de toneladas de plástico al año, con una predominancia de Asia por más de dos tercios (67%), y con los 122 ríos más contaminantes suponiendo más del 90% de esos vertidos, 103 de los cuales ubicados en Asia [8]. Todo ello puede apreciarse en la siguiente figura perteneciente a dicho estudio:

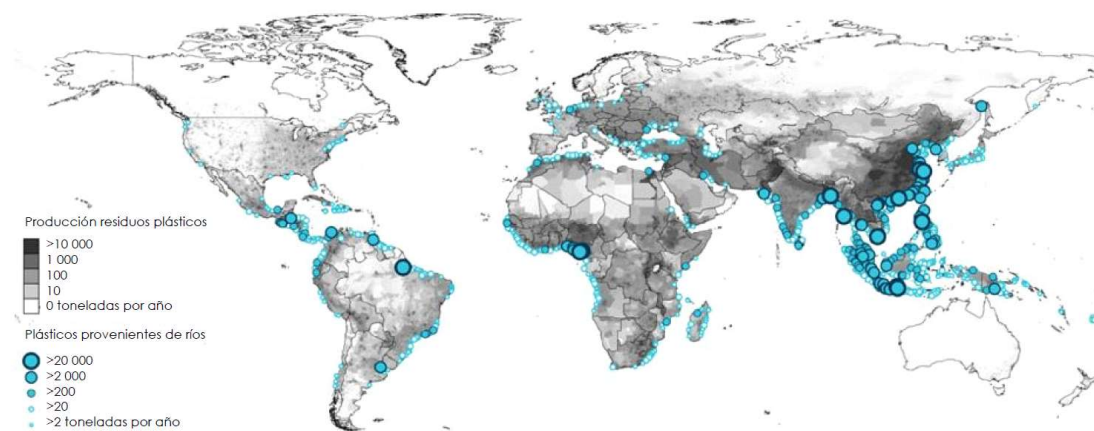


Figura 3: Masa de plástico fluvial fluyendo al océano en toneladas al año. (River plastic emissions to the world's oceans". Revista Nature #8 (2017).)

De acuerdo a los datos obtenidos en dicho estudio, la densidad poblacional, el nivel de urbanización e industrialización, el ritmo pluvial y la presencia de barreras artificiales como presas [9] influyen significativamente en el ritmo de emisión de residuos plásticos al océano por vías fluviales.

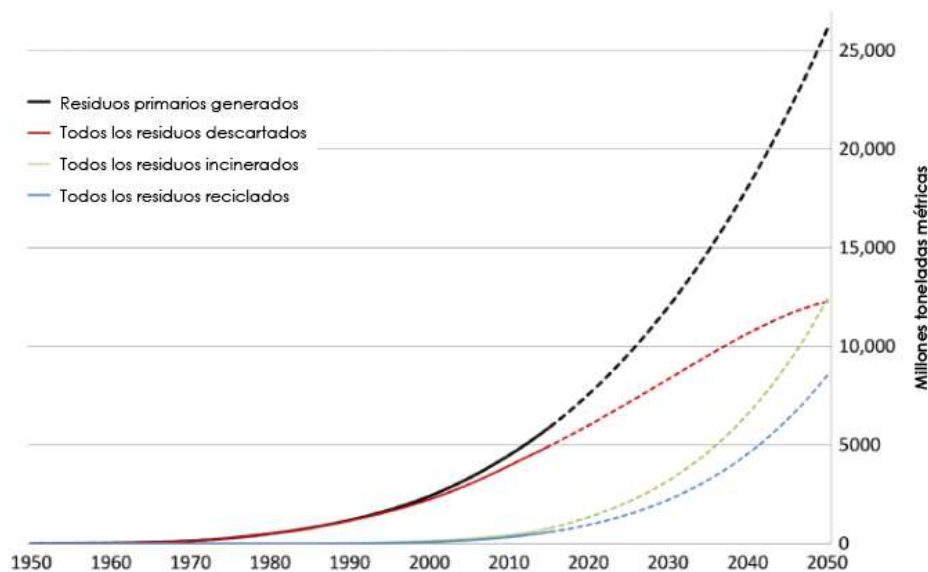
Estos demoledores datos nos dan una idea de la ciclópea magnitud del problema al que nos enfrentamos. El plástico se ha convertido en un material esencial para el ser humano en su día a día, de modo que el reciclaje es un elemento esencial en el camino a seguir para disponer de un plástico con un ciclo de vida que permanezca útil a lo largo de casi toda su existencia hasta su total desintegración. El proceso de reciclado sigue unos pasos concretos. En primer lugar, se procede a la clasificación

de los diferentes tipos de plástico mediante infrarrojos. A continuación, ocurre el triturado y la eliminación de impurezas, tales como etiquetas de papel, adhesivos, etc. El siguiente paso es la fundición y división en pequeñas esferas que se utilizarán entonces para la elaboración de nuevos productos. Los principales plásticos recuperados son: polietileno, incluidos el polietileno de baja densidad (PEBD) y el polietileno de alta densidad (PEAD), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno sólido (PS) y expandido (PS-E), polietileno tereftalato (PET), poliuretano (PUR).

Existen tres principales tipos de reciclaje:

- > **Reciclaje mecánico:** método que consiste en separar los plásticos por clase, lavarlos y triturarlos hasta convertirlos en pequeños trozos que se fundirán en moldes para producir nuevos productos.
- > **Reciclaje químico:** método que consiste en la degradación del plástico mediante calor para resultar nuevamente moléculas simples.
- > **Recuperación energética:** método que convierte el plástico en un combustible para la generación de energía.

La cantidad de plástico reciclado ha estado aumentando progresivamente cada año hasta ahora; si bien esas son buenas noticias, lo cierto es que en general las perspectivas no son del todo halagüeñas. Se estima que, a fecha de 2015, un total de 8300 millones de toneladas de plástico primario (no reciclado) habían sido producidos a nivel global desde su creación inicial. Esto ha derivado en la generación de una cantidad de residuos plásticos que a esa fecha se cuantificaba en 6300 millones de toneladas, un 76% del total. De esa cantidad, alrededor del 12% (800 millones de toneladas) ha sido incinerado, el 79% (4900 millones de toneladas) ha sido desechado a vertederos o al medio ambiente, y sólo un relativamente mísero 9% (600 millones de toneladas) ha sido reciclado. Si la producción de plástico continúa con la firme tendencia que la ha caracterizado hasta ahora, se estima que la humanidad habrá producido un total de 26800 millones de toneladas de plástico a finales de 2050; y si se mantienen consistentes tanto los patrones de utilización como las tendencias de tratamiento de residuos actuales hasta esa fecha, las perspectivas son las siguientes: 12000 millones de toneladas habrán sido desechados, otros 12000 millones de toneladas incinerados, y sólo 9000 millones de toneladas reciclados [9]. Esta proyección se puede apreciar perfectamente de manera gráfica en la siguiente imagen:



Gráfica 1: Generación acumulativa de residuo plástico y su eliminación.
(American Association for the Advancement of Science (2017).)

Si buscamos estadísticas más acotadas y cercanas, los datos mejoran ligeramente. En Europa en 2012 se generaron aproximadamente 25,1 millones de toneladas de plástico, de las cuales se recuperaron el 59,1% (25,1% reciclado y 34,1 recuperado energéticamente) y el 40,9% se llevó a eliminación (vertedero). Respecto a España, lamentablemente el vertedero sigue siendo el destino mayoritario para todo el plástico que se desecha en España, alcanzando el 65%. [11]

De cualquier modo, este esperanzador camino que ofrece el reciclaje no está exento de obstáculos, el primero y más inmediato de los cuales es la dificultad y escasa rentabilidad del proceso de reciclado de materias plásticas, especialmente si lo comparamos con el reciclado del metal, debido a su baja densidad y valor. Más allá de los aspectos económicos, las dificultades surgen en uno de los primeros pasos del proceso de reciclado, la fundición. Dada las diferencias de peso molecular de sus cadenas de poliméricas, los plásticos tienen una muy baja entropía de mezclado. Por lo que cuando diferentes tipos de plástico se funden a la vez, tienden a separarse en capas por fases heterogéneas, como aceite y agua, de tal forma que las superficies de contacto entre capas causan debilidad estructural en el material resultante, si bien recientemente se ha propuesto el uso de copolímeros bloqueantes para paliar estas dificultades. [12]

Por otra parte, existen métodos para mejorar el proceso; por ejemplo, el porcentaje de plástico que puede ser completamente reciclado en lugar de desechado puede aumentar sensiblemente si los fabricantes de productos embalados minimizan la mezcla de distintos materiales de embalaje y eliminan los contaminantes. Esta y otras prácticas están recogidas en la guía de buena praxis que la *Association of Plastics Recyclers* ha elaborado para tal fin [13]. Y naturalmente, el hecho de que cada vez se fomente más el uso de plásticos biodegradables mejora sustancialmente la situación.

3.2. Contexto específico: residuos textiles sintéticos, situación general y planes de reciclaje.

Para conocer la composición de los residuos textiles es necesario conocer también cuál es la composición original del producto y, en el caso del textil, cuál es la composición de sus fibras.

Se considera que son productos textiles aquellos que contengan al menos un 80% de fibras textiles, incluyendo los recubrimientos de muebles, paraguas y sombrillas, las partes textiles de los revestimientos del suelo, paredes, colchones, artículos de camping, forros de abrigos, guantes y calzado (siempre y cuando contengan como mínimo un 80 % de fibras textiles). [14]

El tipo de fibra determinará las características del producto, como la resistencia, elasticidad, transpiración, impermeabilidad, capacidad térmica, etc. Las fibras textiles se pueden clasificar según su origen en naturales (vegetales, animales y minerales) y manufacturadas (orgánicas e inorgánicas):

> **Naturales:** son aquellas fibras que tienen su origen en la naturaleza. Dentro de este grupo destacan:

- ▶ **Vegetales:** estas fibras, principalmente a base de celulosa, se extraen del reino vegetal en diferentes formas, ya sea del tallo, raíces, hojas, etc. Las principales fibras de este grupo son: algodón, lino, cáñamo.

- ▶ **Animales:** estas fibras tienen su origen en el reino animal. Su composición es básicamente proteica y se puede obtener de diferentes formas como el pelo, la piel y filamentos generados por los animales. Algunas de estas fibras son: lana, seda, cuero y otros tipos de pelos.

> **Manufacturadas:** son aquellas fibras que se obtienen a partir de un proceso industrial. Dentro de estas fibras se pueden encontrar:

- ▶ **Orgánicas:** se clasifican según el origen de sus polímeros.

- **Polímeros naturales:** también denominados fibras artificiales. Se fabrican normalmente a partir de proteínas de origen animal o vegetal o celulosa. El proceso permite obtener filamentos largos y resistentes como viscosa, fibra de soja, Lyocell, etc.

- **Polímeros sintéticos:** también se denominan fibras sintéticas. Se obtienen a partir de la síntesis orgánica de diversos productos derivados del petróleo.

Entre estas fibras se pueden destacar:

- **Poliamida, nylon:** es una fibra versátil que cuenta con un gran número de aplicaciones, como prendas de ropa, tapicería y otras aplicaciones técnicas.

- **Poliéster:** permite una buena mezcla con otras materias como algodón, lana, lino, etc. Goza de gran implantación en el mercado.

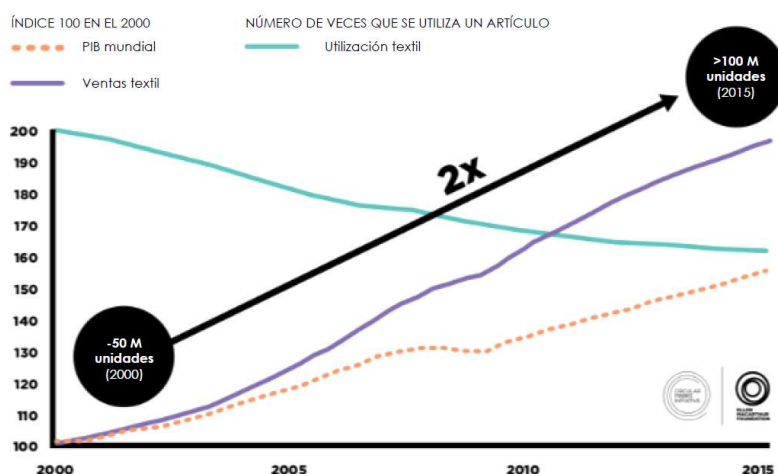
- **Poliétileno:** por sus propiedades de resistencia tiene una gran aplicación en el campo de la náutica y la seguridad (guantes, cascos, etc.).

- Polipropileno: se caracteriza básicamente por su gran resistencia química y su baja absorción de humedad.
- Acrílica: entre sus propiedades destaca la excelente resiliencia, la baja densidad y el tacto agradable semejante a la lana.
- ▶ Inorgánicas: las fibras inorgánicas como el asbesto, la fibra de vidrio, metales, cerámica, etc., tienen características y usos muy diferentes a los del tejido textil y no se incluyen en el ámbito de este trabajo.

En este trabajo de investigación nos centraremos en este último grupo, el grupo de las fibras manufacturadas, que representan el 66% de las fibras usadas en todo el mundo y el 75% de las procesadas en Europa según el Observatorio Industrial del Sector Textil/Confección [15].

Como se verá, la composición del producto es fundamental para su recuperación futura. La mezcla de diferentes fibras en el producto (en el proceso de hilatura y tejido), tratamientos especiales del tejido (en el proceso de acabados) o la mezcla de diferentes materiales (en el proceso de confección), así como la aparición de nuevos tejidos «técnicos» o «inteligentes» que incorporan características específicas o que integran componentes innovadores - textiles o no (componentes eléctricos o electrónicos) - para ampliar las prestaciones de estos productos para sus usuarios, que van más allá de los usos habituales para los que fueron concebidos inicialmente, podrían llegar a dificultar su reutilización, su preparación para la reutilización o simplemente su proceso de reciclaje.

Se entiende por residuo textil el procedente de la ropa, calzado y otro material textil como ropa del hogar, bolsas, paños, etc., que una vez utilizado durante un periodo de tiempo determinado se convierte en residuo. Por otra parte, también se incluyen los excedentes de la industria textil o de cualquier industria que utilice tejido textil, hilos, etc., en su proceso productivo.



Gráfica 2: Crecimiento de las ventas de ropa y disminución de la utilización de ropa desde el año 2000. (World Bank, World development indicators – GD (2017).)

En la gráfica apreciamos como se ha aumentado el consumo de ropa a lo largo de los años en detrimento del tiempo de vida útil de la prenda, lo mismo se puede aplicar a la microfibra doméstica, como cada vez se produce más tienden a ser desechadas con menos tiempo de lo que eran desechadas a principios de siglo [16].

Existiendo una enorme cantidad de materia prima secundaria no utilizada, que puede volver al mercado. Por esto se deben las preocupaciones ambientales que dejan los residuos resultantes de la industria textil que evidentemente han ido en aumento, situación que ha sido abordada por las políticas europeas para definir leyes que regulen la gestión de residuos [17].

En la Unión Europea se rechazan 5,8 millones de toneladas de residuos textiles al año, de los cuales solo el 25% son reciclados y 4,3 millones acaban en incineradoras o en vertederos. De acuerdo con la información facilitada por el Centro de Información Textil y de la Confección (CITYC), solo en España en el año 2011 se generaron 301.600 toneladas de residuos textiles [18].

La generación de residuo textil en España se estima que es entre 7 y 10 kg por persona y año, sin tener en cuenta la cantidad de residuo generado por la industria del textil [19]. Según las caracterizaciones de residuos de diferentes comunidades, el residuo textil corresponde alrededor del 4-4,5 % de los residuos generados, según datos de la página web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (el 4,4 % en Cataluña en 2006, el 4,35 % en Baleares en 2003 y el 4 % en Castilla y León en 2003) [20].

A principios de la década el 18% de los residuos textiles (entre los que se incluye ropa, zapatos y complementos) son reciclados, según el presidente de Asirtex [21]. Este porcentaje estaba muy lejos del objetivo del 50% planteado para el año 2020 y contemplado en el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2016-2022 ([PEMAR](#)). Andrés estima que para esa fecha España no se llegará ni al 25% [22].

CIFRAS QUE IMPRESIONAN

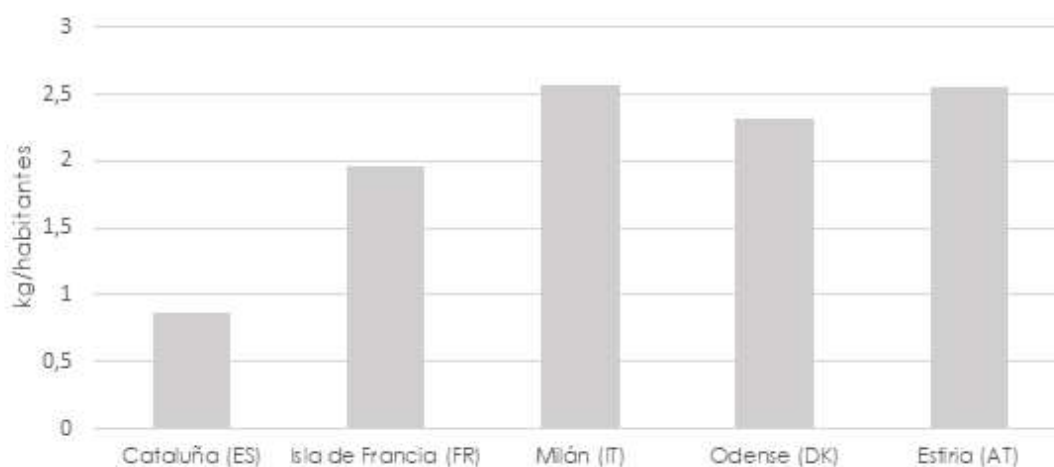


Fuente: ASIRTEX Asociación ibérica del reciclaje textil.

En varios estudios se pueden encontrar datos generales que reflejan que la situación en otros países de Europa es ligeramente más favorable que la que encontramos en nuestro territorio. En cuanto a la composición de la bolsa tipo, también se estima que entre el 4 y el 5 % del residuo municipal corresponde a residuo textil [23].

Desde la ARC (Área de Residuos de Cataluña) se ha trabajado en el proyecto R4R, que es un proyecto Interreg IVC 2012-2014 para la mejora de las actuaciones y los resultados de reciclaje de sus socios, donde trece territorios intercambian y comparten sus buenas prácticas. Este proyecto tiene como objetivo entender las causas de la variabilidad en la generación y la gestión de residuos municipales entre los diferentes países de la UE, así como identificar los instrumentos legales, técnicos y económicos y las buenas prácticas que permiten mejorar los resultados del reciclaje y contribuir a la Sociedad Europea del Reciclaje.

Se ha hecho la comparativa de la recogida selectiva de varios flujos, entre ellos el del residuo textil municipal. Los datos del año 2012 de este flujo muestran que Cataluña presenta ratios de recogida de 0,86 kg/hab./año, por debajo de zonas como Milán (Italia), con 2,57 kg/hab./año, Styria (Austria), con 2,55 kg/hab./año, Odense (Dinamarca), con 2,31 kg/hab./año, e Isla de Francia (Francia), con 1,96 kg/hab./año [24].



Gráfica 3: Recogida del residuo textil municipal en kg/hab./año en 2012 en las regiones participantes en el proyecto R4R. Fuente: elaboración propia a partir de los datos R4R.

El residuo del textil, principalmente de origen doméstico, es recibido por un gestor de residuos cuya actividad principal es la preparación para la reutilización clasificando el residuo según tipologías y calidades.

La preparación para la reutilización es la operación de valorización definida en la Ley 22/2011, de Residuos y Suelos Contaminados, consistente en la comprobación, la limpieza o la reparación, mediante las que productos o componentes de productos que se hayan convertido en residuos se preparan para ser reutilizados sin ninguna otra transformación previa [25].



Gráfica 4: Resultados del proceso de preparación para la reutilización y sus vías de expedición.
Fuente: elaboración propia a partir de los datos aportados por los gestores de residuos.

Como se muestra en la figura anterior, en función de esta preparación para la reutilización, el material resultante puede seguir diferentes vías de expedición:

- **Reutilización:** es la ropa en buen estado que se vende ya sea en las tiendas de segunda mano (mercado nacional) o bien mediante su exportación a otros territorios (mercado internacional).

- **Valorización material:** siguen esta vía los residuos que no se pueden reutilizar, pero sí valorizar. De estos materiales reciclables se elaboran paños, borra o hilo nuevo. En este último caso, el hilo nuevo se obtiene del reciclaje de las fibras (algodón, lana y fibras sintéticas, etc.) y posteriormente se transforma de nuevo en textil o en otros productos.

- **El material textil que no se puede reutilizar ni valorizar materialmente** es el residuo propio de la actividad y se gestiona principalmente por vía de la valorización energética o disposición final. Además, los impropios que entran mezclados con el material deben gestionarse según la vía de gestión más adecuada.

Actualmente se está llevando a cabo varios planes en España, como el Plan Nacional Integral de Residuos de España (PNIR), el Plan Estatal de Inspección de traslados transfronterizos de residuos 2017-2019, el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022 o el Programa Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020, todos ellos orientados en la política de residuos en España en los próximos años, que impulse las medidas necesarias para mejorar las deficiencias detectadas y promueva las actuaciones que proporcionan un mejor resultado ambiental [26].

Según distintos estudios, se evidencia que la reutilización de la ropa supone una reducción muy significativa del impacto ambiental respecto a su producción a partir de materia virgen, como, por ejemplo, una reducción del 30% en la generación de residuos o del 15% en consumo de combustibles fósiles [27].

El ciclo de vida del textil lleva asociados varios impactos ambientales que se pueden concretar en:

- Uso de la energía, en todas sus etapas.
- Agotamiento de recursos naturales, para la producción de fibras sintéticas procedentes de recursos no renovables.
- Uso de productos químicos, como fertilizantes o pesticidas.
- Aguas residuales, con restos de sustancias químicas como colorantes o fosfatos.
- Generación de residuos durante la fabricación y al final de la vida útil.

Los residuos textiles también pueden ser utilizados para la elaboración de nuevas materias primas. Para ello se necesita clasificar por tipos de fibras (lana, poliéster, algodón, seda, nylon, etc.) para posteriormente desmontarlas y volver a hilar. De esa manera los nuevos hilados pueden ser usados por el sector de la confección para la fabricación de piezas nuevas.

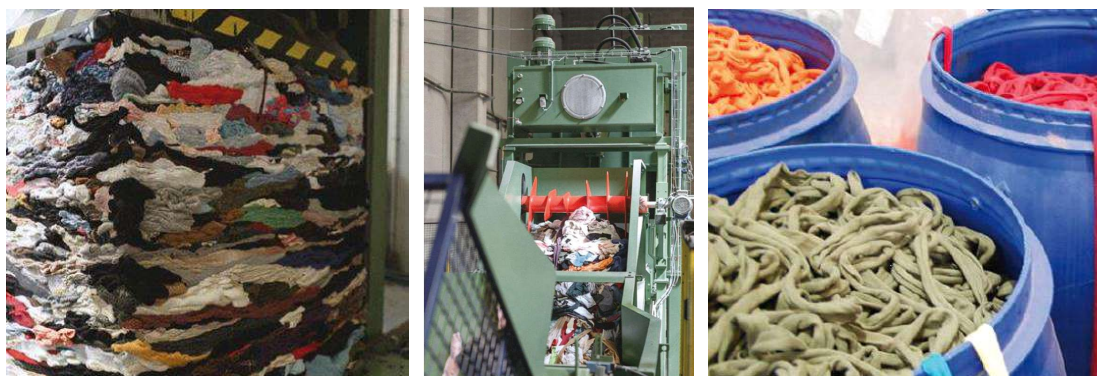


Figura 4: Procesos de valorización del material.

Fuente: Guía de prácticas para la preparación para la reutilización y la valorización de los residuos textiles en Cataluña.

Además, en los procesos auxiliares (por ejemplo, el mantenimiento de las instalaciones, la maquinaria y el transporte) se generan algunos residuos peligrosos. En ocasiones también puede haber pequeñas cantidades de residuos peligrosos mezclados con los residuos para valorizar.

Además, con esta inserción también se forma al personal respecto a su puesto de trabajo y respecto a otras tareas que les pueden ser útiles a la hora de buscar trabajo en otros ámbitos (venta al público, mantenimiento de maquinaria, etc.). Se estima que por cada 1.000 toneladas de residuos textiles recogidas selectivamente se generan dieciocho puestos de trabajo directos entre recogida, selección y venta [28].

Por último, analizados los procesos de estas instalaciones, se ha observado que la eficiencia de estos procesos es muy alta, entre la preparación para la reutilización y lo que se destina a la valorización material. El análisis de la situación actual de recuperación del textil muestra que esta fracción se puede considerar la «quinta fracción» en cuanto a generación, particularmente importante debido a que el textil es la fracción recogida selectivamente con mayor potencial de reutilización, gestión prioritaria en las políticas europeas después de la prevención.

3.3 Reciclaje de residuos textiles en materiales de construcción, conatos previos.

El sector de la construcción tiene un elevado impacto en el consumo energético y en las emisiones de CO₂ a la atmósfera. El uso de materiales residuales contribuye no solo a la reducción del consumo energético en la fabricación de nuevos productos sino también al incremento de su ciclo de vida. Desde el año 2002 han surgido distintas políticas a nivel europeo que fomentan su gestión y reciclaje.

El nuevo estudio propone reintroducir estos residuos en la cadena productiva para obtener paneles que se utilizan en las divisiones interiores de la construcción. Los residuos empleados no precisan ningún tratamiento especial puesto que son restos de productos con control de calidad, como retales de fabricación y restos de hilos.

En la producción de paneles es común el uso de aglomerantes químicos, que presentan la desventaja de las emisiones contaminantes en espacios interiores, además de su comportamiento frente al fuego. En este sentido, se propone la recuperación de un conglomerante de bajo consumo energético asociado y de excelentes propiedades frente al fuego o frente a las emisiones de contaminantes como es la cal.

Con estas premisas, se ha desarrollado un panel de fibras textiles conglomeradas con cal hidráulica natural. De acuerdo con los ensayos realizados, se observa que los paneles con residuos textiles presentan menor densidad respecto a otros comparables del mercado y mejoran el comportamiento térmico, de tal forma que reducen hasta dos veces la conductividad térmica de otros materiales comerciales. Por su parte, la introducción de fibras textiles también mejora el comportamiento acústico de los paneles en términos de absorción sonora [29].

En España, equipos de investigadoras de la [Escuela Técnica Superior de Arquitectura](#) de la Universidad Politécnica de Madrid están desarrollando materiales de elevadas prestaciones mecánicas empleando fibra textil reciclada, contribuyendo a paliar el problema medioambiental de acumulación de residuos.

Por una parte, las docentes Cristina Alía García y Rosa Ocaña López han desarrollado y fabricado un nuevo concepto de material laminado de aglomerado textil reciclado con recubrimiento metálico o polimérico denominado *TeksTeela*. Pero no sólo es un material laminar que reutiliza productos textiles, sino que logra aumentar hasta 8 veces la resistencia a impacto frente a otras soluciones tradicionales del mercado, consiguiendo unas prestaciones con una fabricación abajo coste e in situ en el lugar de implantación de la tecnología, manifestándose también como un eficaz aislante de temperatura y ruido para viviendas. Este material está concebido para uso en construcción modular de inmuebles tales como viviendas, locales, espacios industriales, etc., así como al diseño y fabricación de mobiliario de todo tipo (interior y exterior) [30].

Por otra parte, las investigadoras María del Mar Barbero, Olatz Pombo y María de los Ángeles Navacerrada han llevado a cabo un estudio en el que, a partir de materiales textiles en desuso, han obtenido paneles para divisiones interiores que pueden ser utilizados tanto en obra nueva como en la rehabilitación de edificios. Explican que "el panel con residuos textiles mejora térmicamente entre un 35% y un 38% con respecto a los paneles similares que hay en el mercado".

Los paneles obtenidos con este método tienen un peso menor, hechos a base de fibras textiles, ropa usada, conglomeradas con cal hidráulica natural. Según los ensayos, esto les otorga una menor densidad, "entre un 27% y un 85% respecto a otros paneles", por lo que se aligera el peso de la construcción [31].

Como señalan las investigadoras que han desarrollado este nuevo producto, el uso de este tipo de paneles mejora sustancialmente las condiciones térmicas y acústicas de las edificaciones al tiempo que reduce el impacto energético asociado a la producción de materiales de construcción y las emisiones de gases de efecto invernadero.

4. HIPÓTESIS DE PARTIDA

Todo el proceso de elaboración de este trabajo, desde la fabricación de las probetas para los correspondientes ensayos, pasando por la realización de éstos y el análisis de sus resultados, y hasta el diseño de un producto y su aplicación a un caso práctico simulado, se realizará asumiendo las hipótesis de partida que se enumeran a continuación. Cualquier valoración o escrutinio de los resultados y conclusiones alcanzados en este documento habrán de tener en todo momento la aceptación de susodichas hipótesis en consideración.

- Se considerará que **el material de adición empleado en la experiencia procede realmente del reciclado de residuos de bayetas de microfibra** sometidos al tratamiento y procesado pertinentes.
Si bien el material usado consiste en bayetas de microfibra nuevas troceadas a mano, asumiremos que el resultado es equivalente al producto del reciclado de bayetas usadas del mismo tipo o similares, tras haber sido sometidas a todo el procesamiento necesario para tal fin. Procesamiento que incluye especialmente, dado el carácter insalubre de su origen, el tratamiento de limpieza del material, no por su inclusión en el producto en sí, donde va encapsulado, sino por las necesidades de manipulación que su elaboración pudiere conllevar.
- Se considerará **que los retazos de microfibra encapsulados en el yeso sólido no retienen en ningún caso agua alguna**, pasando toda ella a participar en el proceso de fraguado del material.
Dada nuestra falta de experiencia sobre el comportamiento de este material de adición embebido en el yeso, así como la ausencia de literatura publicada a este respecto, asumiremos que la microfibra no retendrá nada de humedad tras el proceso de fraguado. Debido a ello, todo cálculo para determinar las necesidades de agua para las mezclas se realizará en proporción exclusivamente a la masa de yeso, ignorando la adición de microfibra.
- Se considerará que **el volumen aparente de cada probeta equivale en todo caso al volumen definido por su geometría prismática** (ancho x largo x alto).
El planificado ensayo para determinar la densidad aparente de las probetas finalmente no se llevó a cabo, de modo que simplemente asumiremos que el volumen aparente de cada probeta equivaldrá al volumen puro del prisma que la define, es decir, al producto de sus tres dimensiones principales. Es por ello muy importante tener en cuenta que siempre que se hable de densidad aparente de una probeta en este documento, simplemente se está haciendo referencia a un valor proporcional de su masa, sin ningún carácter definitorio por sí mismo.

5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

En esta sección se procederá a la descripción de la metodología seguida durante todo el proceso experimental y documental llevado a cabo para la elaboración del presente trabajo. Dicha metodología será específica para a cada una de las diferentes fases del proceso, adecuándose en cada caso a sus particularidades y necesidades concretas, como puede apreciarse a continuación.

- **Fase 1: fabricación de probetas.**
Será realizada por nuestro grupo en el laboratorio de Construcción de la E.T.S.A., con la guía y el asesoramiento del cuerpo docente y el personal de laboratorio. El material de adición será proporcionado por nosotros y preparado de antemano, mientras que el resto de componentes (yeso, agua), así como todo el instrumental necesario para la fabricación (moldes, recipientes, balanza) serán proporcionados por el propio laboratorio.
- **Fase 2: ensayos de comportamiento mecánico.**
Serán realizados por el personal de laboratorio en el laboratorio de Construcción de la E.T.S.A., siguiendo las pautas estipuladas en la normativa UNE correspondiente en cada caso. Todo el instrumental necesario para los ensayos (prensa de compresión, balanza, etc) será proporcionado por el laboratorio.
- **Fase 3: ensayos de comportamiento acústico.**
Serán realizados por nuestro grupo en el laboratorio de Física de la E.T.S.A., con la guía y el asesoramiento del cuerpo docente. Las probetas para ensayo acústico serán trasladadas desde el laboratorio de Construcción por nosotros. El instrumental necesario para los ensayos (tubo de Kundt, altavoz, etc) será proporcionado por el laboratorio.
- **Fase 4: análisis de resultados.**
Será realizado individualmente por cada miembro del grupo. Se estudiará estadísticamente la fiabilidad de los datos obtenidos según su homogeneidad, así como las diferentes correlaciones entre sus propiedades físicas y mecánicas. Se empleará como herramienta principal el programa GeoGebra 5 Classic.
- **Fase 5: diseño de producto propuesto.**
Será realizado individualmente por cada miembro del grupo, no pudiéndose repetir la elección de un mismo tipo de elemento constructivo. Se tomará un producto existente en el mercado como referencia y se replanteará usando el material con el porcentaje de adición elegido, definiendo las diferencias físicas, mecánicas, acústicas y económicas pertinentes.
- **Fase 6: aplicación a caso práctico.**
Será realizado individualmente por cada miembro del grupo. Ha de ser un edificio o conjunto de edificios con una entidad significativa. Se realizarán las mediciones correspondientes para determinar la cantidad de elemento constructivo a instalar y se estudiarán las diferencias pertinentes (económicas, mecánicas, energéticas, etc) entre aplicar el producto de referencia o el producto diseñado.

6. PLAN EXPERIMENTAL

6.1. Introducción metodológica, normativa de referencia.

En esta sección del documento se reflejará todo el proceso de materialización del plan experimental para evaluar el producto elegido, consistente, por orden cronológico, en la elaboración de probetas para los pertinentes ensayos, la propia realización de dichos ensayos y el análisis de los resultados obtenidos en los mismos. Todo este proceso seguirá las directrices metodológicas básicas que se describen a continuación:

- Para la realización de los ensayos de densidad, mecánico y acústico, así como la elaboración de las probetas correspondientes a tal efecto, se procederá en todo caso según lo establecido en los documentos normativos aquí enumerados.

Ensayos de densidad:

- **UNE-EN ISO 1015-10:** Determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido.

Ensayos mecánicos:

- **UNE-EN ISO 1015-11:** Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido.

Ensayos acústicos:

- **UNE-EN ISO 10534-1:** Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 1: Método del rango de onda estacionaria.

- Para confirmar la fiabilidad de los datos obtenidos en los ensayos mecánicos y la representatividad de sus valores medios, y así garantizar que se realizó una adecuada ejecución del proceso de fabricación y de los propios ensayos, se ha de realizar una comprobación estadística de la homogeneidad de los resultados por cada muestra de probetas. Con esta finalidad se emplearán **diagramas de caja**, donde se aprecia de manera visual e inmediata la concentración o dispersión de estos datos mediante el sombreado del segundo y tercer cuartil, los cuales engloban el 50% de ellos. En cuanto a los valores numéricos de interés, se encuentran la **media aritmética** y la **desviación estándar (σ)**, definida esta última mediante la siguiente expresión:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}$$

Donde μ es la media aritmética y N el número total de datos. Sin embargo, cuando el conjunto de datos se considera sólo una muestra de un total, se usa la siguiente expresión, más desfavorable:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}$$

Esta última es la que usaremos, al considerar el número de probetas que analizamos como una muestra de un hipotético número mayor indeterminado de ellas. Otro valor a tener en cuenta es el **coeficiente de variación**, expresado de la siguiente manera:

$$C_v = \frac{\sigma}{|\bar{x}|}$$

Se trata de un coeficiente sin unidades que expresa la relación entre la desviación estándar y la media aritmética y que sirve como indicador de la homogeneidad de la muestra cuando su valor se encuentra entre cero y uno. Este coeficiente no ha de usarse como referencia cuando la media aritmética de los valores es cercana a cero, mas éste no es el caso en esta experiencia.

6.2. Probetas, adaptación a los ensayos, dosificaciones.

En las siguientes líneas se procederá a la caracterización de los diferentes elementos que constituyen las probetas destinadas a los pertinentes ensayos, proporcionando la información referente a los materiales de composición, las dosificaciones de éstos, las dimensiones de las propias probetas y otros datos de interés.

6.2.1. Caracterización del material de adición.

- Composición: **Microfibra (80 % Poliéster, 20 % Poliamida)**
- Procedencia: Bayetas de limpieza multiusos de tejido tipo Terry
- Capacidad de absorción: $[(P_{sat.}-P_{seco})/P_{seco}] \times 100 \% = 150 \%$
- Tratamiento: Troceado manual irregular, con una longitud máxima de trozo de 14 mm

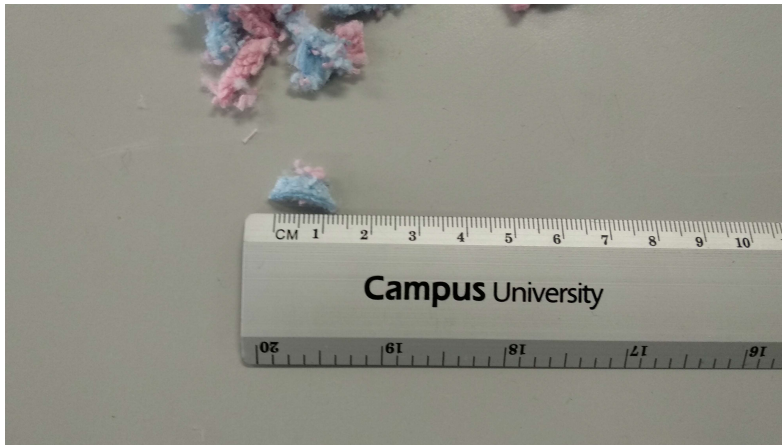


Figura 5: caracterización del material de adición.

6.2.2. Caracterización de las probetas para ensayo mecánico.

- Material principal: **Yeso** (sulfato de calcio hemihidratado: $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)
- Relación agua/yeso = **0'50**
- Masa: **300 gr** por probeta
- Dimensiones: Probetas prismáticas de **40 x 40 x 160 mm**
- Dosificaciones:
Se realizarán tres tipos de probetas, correspondientes a tres porcentajes diferentes de dosificación del material de adición en relación al peso máximo de yeso.

Tipo 1 (1 % de material de adición):

- Nomenclatura: **PMYM/1**
- Masa de la adición: $300 \times 0'01 = 3 \text{ gr}$ por probeta
- Masa de Yeso: $300 - 3 = 297 \text{ gr}$ por probeta
- Masa de agua: $297 \times 0'50 = 148'5 \text{ gr}$ por probeta
- N° de probetas: 6

Tipo 2 (1'5 % de material de adición):

- Nomenclatura: **PMYM/1'5**
- Masa de la adición: $300 \times 0'015 = 4'5 \text{ gr}$ por probeta
- Masa de Yeso: $300 - 4'5 = 295'5 \text{ gr}$ por probeta
- Masa de agua: $295'5 \times 0'50 = 147'75 \text{ gr}$ por probeta
- N° de probetas: 6

Tipo 3 (2 % de material de adición):

- Nomenclatura: **PMYM/2**
- Masa de la adición: $300 \times 0'02 = 6 \text{ gr}$ por probeta
- Masa de Yeso: $300 - 6 = 294 \text{ gr}$ por probeta
- Masa de agua: $294 \times 0'50 = 147 \text{ gr}$ por probeta
- N° de probetas: 6

6.2.3. Caracterización de las probetas para ensayo acústico.

- Material principal: **Yeso** (sulfato de calcio hemihidratado: $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)
- Relación agua/yeso = **0'50**
- Masa: **188 gr** por probeta
- Dimensiones: Probetas cilíndricas de $\varnothing = 95 \text{ mm}$ y $h = 20 \text{ mm}$
- Dosificaciones:

En lo relativo a la dosificación de materiales se realizará un solo tipo de probetas, correspondiente al máximo porcentaje de dosificación del material de adición para el ensayo mecánico (**2 %**) para que su influencia en la prueba de absorción acústica sea, si bien casi despreciable, la mayor posible. La variación se hallará en el acabado superficial.

- Nomenclatura: **PAYM/2**
- Masa de la adición: $188 \times 0'02 = 3'76 \text{ gr}$ por probeta
- Masa de Yeso: $188 - 3'76 = 184'24 \text{ gr}$ por probeta
- Masa de agua: $184'24 \times 0'50 = 92'12 \text{ gr}$ por probeta
- N° de probetas: 2 (cada una con un acabado superficial distinto)
- Acabados superficiales:
Se realizarán dos tipos de acabados superficiales para probar sus capacidades de absorción acústica.
 - Tipo 1:
Capa superficial de microfibra sin compactar.
Formada por trozos de microfibra superpuestos en el yeso.
 - Tipo 2:
Capa superficial de microfibra compactada.
Formada por trozos de microfibra impregnados en el yeso.

6.3. Proceso de elaboración de probetas en laboratorio.

En esta sección del documento se relatará, de manera exhaustiva y en orden estrictamente cronológico, todo el proceso de elaboración de las probetas necesarias para los pertinentes ensayos llevado a cabo por nuestro grupo en el laboratorio de Construcción de la E.T.S.A. el día 13/3/2019. Para la realización de dicho proceso se contó, en todo momento, con la supervisión, el asesoramiento y la asistencia tanto del cuerpo docente, representado por doña Paloma Rubio, como del personal de laboratorio presente ese día.

6.3.1. Preparación y pasos iniciales.

- El primer paso fue dotarse con el equipamiento de laboratorio preceptivo, consistente en bata blanca y guantes monouso.
- Inmediatamente después se procedió a la observación detallada de la fabricación, por parte del personal de laboratorio, de las 6 probetas de referencia "blancas" (sólo yeso, sin ningún aditivo), obteniéndose de dicha observación las nociones básicas, esenciales ante nuestra falta de experiencia, acerca de aspectos tales como el uso del instrumental, el manejo de los materiales y la aplicación previa del desencofrante en los moldes, así como las directrices para la elaboración, amasado y vertido de la pasta de yeso.
- Seguidamente se procedió a determinar la elección adecuada de las dosificaciones de material de adición para nuestras probetas, las cuales aparecen reflejadas en el punto anterior de este documento. Para ello, se llevó a efecto la comprobación del máximo porcentaje de dosificación de material de adición en relación al peso máximo de yeso que admite la probeta, mediante el siguiente ejercicio:
 - Se rellenó un molde de probeta totalmente con material de adición, el máximo que admitiese dicho volumen.
 - Se pesó dicha cantidad de material de adición en la balanza de precisión, obteniéndose un peso de **16 gr**.
 - Dividiendo dicho peso entre el peso máximo de yeso que admite el molde de probeta (**300 gr**) y multiplicándolo por 100 se determina el porcentaje máximo de dosificación de material de adición en relación al peso máximo de yeso: $(16/300) \times 100 = \mathbf{5'3\%}$.

De modo que para estas probetas, la máxima dosificación de material de adición es un 5'3% del máximo yeso (lo cual implicaría cero yeso, todo material de adición). Tras obtener y considerar esta información, se eligen como porcentajes óptimos de dosificación de material de adición **1 %**, **1'5 %** y **2 %**, elaborándose 6 probetas para ensayo mecánico de cada uno de estos porcentajes, así como 2 probetas para ensayo acústico del máximo de ellos. Realizando los cálculos, se determina la masa de adición correspondiente a cada porcentaje:

- **1 %** de adición: $300 \times 0'01 = \mathbf{3\ gr}$ por probeta
- **1'5 %** de adición: $300 \times 0'015 = \mathbf{4'5\ gr}$ por probeta
- **2 %** de adición: $300 \times 0'02 = \mathbf{6\ gr}$ por probeta

- Tras decidir los porcentajes de dosificación y calcular las masas correspondientes, se procedió directamente a obtener las cantidades precisas de material de adición mediante el uso de la balanza de precisión, con objeto de procurar su disponibilidad con antelación. De tal modo, se prepararon 6 vasos de **3 gr** (1 % de adición), 6 vasos de **4'5 gr** (1'5 % de adición) y 6 vasos de **6 gr** (2 % de adición). Para identificar los vasos, se colocó dentro de cada uno de ellos un trozo de papel con su porcentaje de adición correspondiente escrito en él; dada la naturaleza del material de adición (trozos de bayeta de microfibra) dicho papel indicador no implicó en ningún momento su contaminación.



Figuras 6 y 7: obtención de dosificación de microfibra a priori.

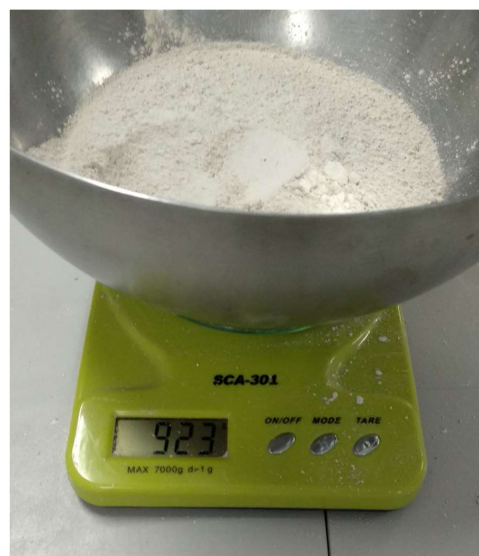
- A continuación, como paso necesario previo a la elaboración de las probetas, se efectuó la aplicación del desencofrante a todos los moldes destinados a tal efecto.



Figuras 8: aplicación de desencofrante al molde.

6.3.2. Elaboración de probetas para ensayo mecánico.

- Una vez concluido lo anterior, se acometió el proceso de fabricación de probetas propiamente dicho. Se comenzó por las probetas para ensayo mecánico, específicamente las correspondientes al **1 %** de material de adición. Como primer contacto con esta labor, se optó por empezar con la elaboración de una sola probeta. El procedimiento seguido fue el siguiente:
 1. Calcular las masas de yeso y agua de acuerdo al porcentaje de dosificación del material de adición, y obtener las cantidades precisas de dichos materiales mediante el empleo del instrumental del laboratorio: balanza de precisión y recipientes (las cantidades de material de adición, recordemos, fueron obtenidas previamente).
 2. Mezclar con antelación el material de adición (microfibra) con el agua, con objeto de que la microfibra, caracterizada por su alta capacidad de absorción, estuviese completamente saturada previamente a su unión con el yeso, lográndose así facilitar el proceso de amasado y garantizando que durante el fraguado cualquier intercambio de humedad que ocurriera entre microfibra y yeso se produjera del primero al segundo, y no al contrario.
 3. Mezclar el compuesto de agua y material de adición con el yeso, y proceder a su amasado manual hasta la consecución de una pasta uniforme.
 4. Verter la pasta lograda en el correspondiente molde de probeta, procurando un relleno exhaustivo y un acabado superficial uniforme ayudándose de una espátula.



Figuras 9 y 10: mezcla previa microfibra-agua y obtención de masa de yeso.



Figuras 11 y 12: vertido de masa y conformación de probeta mecánica.

Este mismo método, tal como se describe, se usará invariablemente para hacer efectiva la elaboración de las subsiguientes probetas para ensayo mecánico. Respecto a esta probeta inicial (**1 %** de adición, recordemos), las cantidades de materiales empleadas se enumeran a continuación:

Para **1** probeta de **1 %** adición (nomenclatura **PMYM/1**):

- Masa de la adición: $300 \times 0'01 = \mathbf{3 \text{ gr}}$
 - Masa de yeso: $300 - 3 = \mathbf{297 \text{ gr}}$
 - Masa de agua: $297 \times 0'50 = \mathbf{148'5 \text{ gr}}$
- Tras esta primera toma de contacto, se continuó con la fabricación de probetas para ensayo mecánico de **1 %** de adición, decidiendo esta vez realizar dos de ellas a la vez. Siguiendo la recomendación de nuestros supervisores, se decidió aumentar ligeramente las cantidades calculadas de yeso y agua con el fin de compensar las posibles pérdidas (aproximadamente 14 gr de yeso y 7 gr de agua por probeta). En cuanto a su fabricación, se siguió el mismo método descrito en el punto anterior. En esta ocasión, las cantidades de materiales empleadas fueron las siguientes:

Para **2** probetas de **1 %** adición (nomenclatura **PMYM/1**):

- Masa de la adición: $(300 \times 0'01) \times 2 = \mathbf{6 \text{ gr}}$
 - Masa de yeso: $(300 - 3) \times 2 = 594 \text{ gr}; 594 + 27 \text{ (pérdidas)} = \mathbf{621 \text{ gr}}$
 - Masa de agua: $(297 \times 0'50) \times 2 = 297 \text{ gr}; 297 + 13 \text{ (pérdidas)} = \mathbf{310 \text{ gr}}$
- Ya terminadas las 3 primeras, concluimos la fabricación de probetas para ensayo mecánico de **1 %** de adición realizando las 3 restantes de una sola vez. El proceso de fabricación vuelve a ser el mismo descrito anteriormente, y como en el caso previo, se aumentaron ligeramente las cantidades calculadas de yeso y agua como prevención de potenciales pérdidas (alrededor de 10 gr de yeso y 5 gr de agua por probeta). Las cantidades de materiales empleadas en esta ocasión se describen a continuación:

Para **3** probetas de **1 %** adición (nomenclatura **PMYM/1**):

- Masa de la adición: $(300 \times 0'01) \times 3 = \mathbf{9 \text{ gr}}$
 - Masa de yeso: $(300 - 3) \times 3 = 891 \text{ gr}$; $891 + 32$ (pérdidas) = **923 gr**
 - Masa de agua: $(297 \times 0'50) \times 3 = 445'5 \text{ gr}$; $445'5 + 15$ (pérdidas) = **460'5 gr**
- Concluido el trabajo sobre las probetas de menor dosificación, se acometió el proceso de fabricación de probetas para ensayo mecánico de **1'5 %** de adición, optándose esta vez por realizarlas todas, las 6 preceptivas, de una sentada. De nuevo se sigue el mismo método de trabajo descrito originalmente, y vuelve a efectuarse el ligero aumento de las cantidades calculadas de yeso y agua para la paliación de posibles pérdidas (4'5 gr de yeso y 2'25 gr de agua por probeta). Las cantidades de materiales usadas en el caso que nos ocupa se muestran en las siguientes líneas:

Para **6** probetas de **1'5 %** adición (nomenclatura **PMYM/1'5**):

- Masa de la adición: $(300 \times 0'015) \times 6 = \mathbf{27 \text{ gr}}$
 - Masa de yeso: $(300 - 4'5) \times 6 = \mathbf{1773 \text{ gr}}$; $1773 + 27$ (pérdidas) = 1800 gr
 - Masa de agua: $(295'5 \times 0'50) \times 6 = \mathbf{886'5 \text{ gr}}$; $886'5 + 13'5$ (pérdidas) = 900 gr
- Como último paso para terminar la labor sobre las probetas para ensayo mecánico, se procedió a la elaboración de las probetas de **2 %** de material de adición, de nuevo optándose por realizar las 6 correspondientes de una tacada. Una vez más vuelve a utilizarse el método de trabajo original, además de volverse a realizar el ligero aumento preventivo de las cantidades calculadas de yeso y agua por las posibles pérdidas (sobre 4'3 gr de yeso y 2'15 gr de agua por probeta). A continuación se reflejan las cantidades de materiales empleadas esta vez:

Para **6** probetas de **2 %** adición (nomenclatura **PMYM/2**):

- Masa de la adición: $(300 \times 0'02) \times 6 = \mathbf{36 \text{ gr}}$
- Masa de yeso: $(300 - 6) \times 6 = \mathbf{1764 \text{ gr}}$; $1764 + 26$ (pérdidas) = 1790 gr
- Masa de agua: $(294 \times 0'50) \times 6 = \mathbf{882 \text{ gr}}$; $882 + 13$ (pérdidas) = 895 gr

6.3.3. Elaboración de probetas para ensayo acústico.

- Como primer paso para la elaboración de las probetas para ensayo acústico (tubo de Kundt), se procedió a calcular y obtener la cantidad necesaria de material de adición, con objeto de garantizar su disponibilidad de antemano. Para realizar dicho cálculo son requeridos dos valores: la masa máxima de yeso que admite la probeta para ensayo acústico (**188 gr**) y el porcentaje de dosificación del material de adición elegido (**2 %**). Se opta por **2 %**, el máximo de los considerados, con el fin de que la adición ejerza la máxima influencia posible en la prueba de absorción acústica, si bien es sabido que dicha influencia es despreciable respecto a la del acabado superficial. Con estas consideraciones, la masa de material de adición necesario es la siguiente:
 - **2 %** de adición: $188 \times 0'02 = \mathbf{3'76 \text{ gr}}$ por probeta

Una vez determinada la cantidad de material de adición requerida, ésta se obtiene y prepara mediante el uso de la balanza de precisión. Puesto que el número de probetas a realizar es **2**, y ambas han de contar con la misma dosificación de material de adición, se preparó un solo vaso con **7'52 gr** con la intención de elaborar las 2 probetas de una sola vez.

- A continuación, como ya se hizo anteriormente para las probetas de ensayo mecánico, se llevó a efecto la aplicación del desencofrante a los dos moldes destinados a albergar nuestras probetas para ensayo acústico.
- Una vez estuvo todo preparado, se procedió por fin a la elaboración de las probetas, las 2 a la vez, como ya se indicó anteriormente. El método de trabajo fue esencialmente el mismo que el seguido para la realización de las probetas de ensayo mecánico, y también en este caso se tuvo en cuenta el ligero aumento de las cantidades calculadas de yeso y agua como prevención de potenciales pérdidas (5'76 gr de yeso y 2'88 gr de agua por probeta). A continuación se recoge la dosificación de materiales empleada para estas probetas:

Para **2** probetas de **2 %** adición (nomenclatura **PAYM/2**):

- Masa de la adición: $(188 \times 0'02) \times 2 = 7'52 \text{ gr}$, 3'76 gr por probeta.
 - Masa de yeso: $(188 - 3'76) \times 2 = 368'48 \text{ gr}$; $368'48 + 11'52$ (pérdidas) = 380 gr
 - Masa de agua: $(184'24 \times 0'50) \times 2 = 184'24 \text{ gr}$; $184'24 + 5'76$ (pérdidas) = 190 gr
- Para finalizar, se llevó a cabo un paso esencial para la caracterización de las probetas frente la prueba de absorción acústica: el diseño de su acabado superficial. Gracias al asesoramiento de la supervisora docente, se concibieron dos tipos de diseño para el acabado superficial, aplicándose uno a cada probeta:
 1. Capa superficial de microfibra superpuesta: consistente en una capa externa de trozos de microfibra superpuestos en la probeta, logrando su adherencia simplemente por la humedad de la misma.
 2. Capa superficial de microfibra compactada: el mismo principio que la anterior, pero en este caso los trozos de microfibra se disponen impregnados en la pasta de yeso, en la parte más externa de la probeta.



Figura 13: probetas para ensayo acústico ya fabricadas.

6.3.4. Resumen de datos de elaboración de probetas.

A continuación se facilita una síntesis de la información relativa a las dosificaciones de las probetas fabricadas, clasificada en tablas según el tipo de ensayo correspondiente:

Probetas para ensayos mecánicos:

MUESTRA	Nº PROBETAS	NOMENCLATURA	SUSTITUCIÓN EN PESO DE YESO POR MICROFIBRA	CANTIDAD RESIDUO MICROFIBRA	CANTIDAD YESO	CANTIDAD AGUA
			%	g	g	g
1	6	REF	0	0	1800	990
2	6	PMYM/1	1	18	1782	891
3	6	PMYM/1'5	1,5	27	1773	886'5
4	6	PMYM/2	2	36	1764	882

Tabla 1: dosificaciones de probetas mecánicas.

Probetas para ensayos acústicos:

MUESTRA	Nº PROBETAS	NOMENCLATURA (ACABADO SUPERFICIAL)	SUSTITUCIÓN EN PESO DE YESO POR MICROFIBRA	CANTIDAD RESIDUO MICROFIBRA	CANTIDAD YESO	CANTIDAD AGUA
			%	g	g	g
1	1	REF	0	0	188	94
2	1	PAYM/2-1 (CAPA SUPERPUESTA)	2	3,76	184,24	92,12
3	1	PAYM/2-2 (CAPA COMPACTADA)	2	3,76	184,24	92,12

Tabla 2: dosificaciones de probetas acústicas.

6.4. Ensayos de caracterización.

A continuación se relata toda la información referente a la ejecución de los diferentes ensayos con las correspondientes probetas fabricadas. Se proporcionará en cada caso una descripción de la metodología concreta empleada, una relación de los resultados obtenidos y finalmente una exposición analítica sobre la validez y la fiabilidad de dichos resultados.

6.4.1. Ensayos de densidad aparente.

- **Metodología.**

Los ensayos de densidad aparente buscan determinar la relación que existe entre la masa del material y su volumen aparente. Han de realizarse a las probetas destinadas a ensayos mecánicos, y hacerlo antes de que éstas sean sometidas a dichos ensayos destructivos. El método de realización del ensayo de densidad aparente se recoge en la norma UNE-EN ISO 1015-10. En ella se explica que para averiguar el volumen aparente de la probeta hay que realizar tres pasos:

- Determinar la masa saturada de la probeta; es decir, pesarla tras haber sido introducida en agua y haber absorbido todo el líquido posible y tras quitarle la humedad superficial sobrante con un trapo.

- Determinar la masa hidrostática de la probeta; esto es, pesarla en una balanza hidrostática, que determina su masa introducida en agua en equilibrio hidrostático de acuerdo al teorema de Arquímedes.



Figura 14: balanza hidrostática.
(Foto de stock)

- Calcular el volumen aparente mediante la siguiente expresión:

$$V_s = \frac{m_{s,sat} - m_{s,i}}{\rho_w}$$

Donde:

V_s es el volumen aparente de la probeta.

$m_{s,sat}$ es la masa saturada de la probeta.

$m_{s,i}$ es la masa hidrostática de la probeta.

ρ_w es la densidad del agua.

Una vez obtenido el volumen saturado, basta dividir por éste la masa en seco de la probeta para obtener el dato buscado de la densidad aparente.

- **Resultados.**

Como ya se advirtió en las hipótesis de partida (punto 4 de este documento), los ensayos de densidad aparente planificados para las probetas mecánicas finalmente no se realizaron, de modo que nosotros simplemente consideraremos que el volumen es el mismo para todas las probetas, y coincide con el volumen del prisma que define su forma. De este modo, el volumen aparente considera será:

$$V = \text{longitud} \times \text{anchura} \times \text{altura} = 4 \times 4 \times 16 = \mathbf{256 \text{ cm}^3}$$

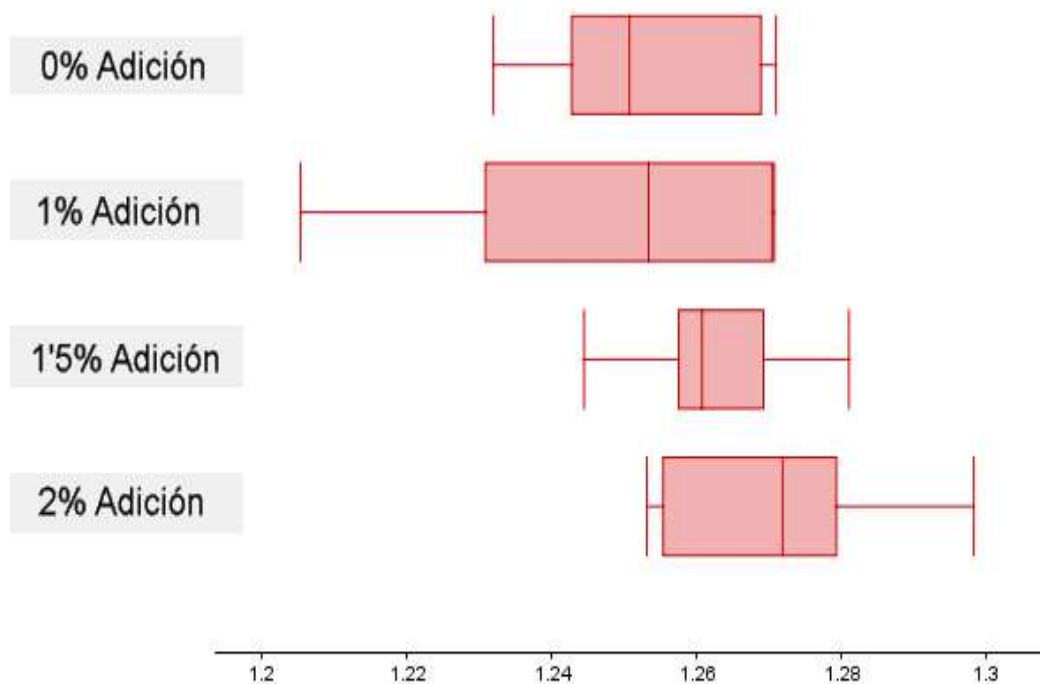
El dato que nos proporciona el laboratorio es meramente su masa (en gramos), de modo que al calcular la densidad con el valor de volumen que hemos considerado estamos tratando con datos finales que son simplemente valores proporcionales a las masas de las probetas. La relación de resultados obtenidos se recoge en la siguiente tabla:

Probeta n°	Probeta 0% adición		Probeta 1% adición		Probeta 1.5% adición		Probeta 2% adición	
	Peso (g)	Densidad ap. (g/cm ³)	Peso (g)	Densidad ap. (g/cm ³)	Peso (g)	Densidad ap. (g/cm ³)	Peso (g)	Densidad ap. (g/cm ³)
1	315.4	1.232	325.26	1.271	318.61	1.245	324.11	1.266
2	318.17	1.243	325.34	1.271	324.95	1.269	327.16	1.278
3	321.76	1.257	323.58	1.264	322.6	1.26	332.4	1.298
4	324.87	1.269	308.57	1.205	322.97	1.262	320.83	1.253
5	325.4	1.271	318.21	1.243	321.95	1.258	321.41	1.256
6	318.66	1.245	315.12	1.231	327.98	1.281	327.54	1.279
MEDIA	320.71	1.253	319.347	1.247	323.177	1.262	325.575	1.272

Tabla 3: resultados ensayos densidad aparente.

- Análisis de resultados.**

Se procederá a comprobar la homogeneidad de los resultados obtenidos en los ensayos de densidad aparente (masa) proporcionados por el laboratorio, con objeto de descartar la existencia de datos ilógicos y, de esta manera, asegurarnos de su fiabilidad. Ello lo haremos a dos niveles: visualmente mediante diagramas de caja, y numéricamente mediante el valor del coeficiente de variación (Cv):



Gráfica 5: análisis homogeneidad, ensayos densidad aparente, diagramas de caja.

% Adic.	n	Media	σ	s	Mín	Q1	Mediana	Q3	Máx	Cv
0	6	1.2528	0.0142	0.0156	1.232	1.2429	1.2508	1.269	1.2711	0.012
1	6	1.2474	0.0239	0.0262	1.2054	1.2309	1.2535	1.2705	1.2709	0.021
1.5	6	1.2624	0.0112	0.0122	1.2446	1.2576	1.2609	1.2693	1.2812	0.01
2	6	1.2718	0.0155	0.017	1.2532	1.2555	1.272	1.2795	1.2984	0.013

Tabla 4: análisis homogeneidad, ensayos densidad aparente, estadísticas.

Una vez observados los resultados, la conclusión es inequívoca. Con unos coeficientes de variación (Cv) bastantes menores que 1, se puede afirmar que los resultados de los ensayos de densidad de cada muestra **son homogéneos** y, por tanto, se asumen fiables. Destaca significativamente, sin embargo, los resultados de **la muestra de 1% de adición**, con un Cv que es aproximadamente el doble que el resto, y visualmente mucho más disperso en sus datos apreciable en los diagramas de caja. Cabe recordar que la muestra de 1% de adición fue la única cuyo proceso de fabricación se realizó por partes (primero una, luego dos a la vez y finalmente las tres restantes simultáneamente), y que a partir de la segunda tanda se comenzó, por recomendación del asesoramiento docente, a añadir una mínima cantidad extra de yeso y agua sobre la dosificación calculada para paliar posibles pérdidas; debido a ello podría aventurarse que esta relativa heterogeneidad de datos puede deberse a las particularidades en la fabricación de esta muestra concreta. En cualquier caso, esta peculiaridad no cambia en nada el diagnóstico inicial, de modo que todas las muestras han de considerarse fiables al respecto de su densidad aparente.

6.4.2. Ensayos de comportamiento mecánico.

6.4.2.1. Ensayos de resistencia a flexión.

- **Metodología.**

Los ensayos de resistencia a flexión se ocupan de determinar la resistencia del material al esfuerzo flector a partir de la carga de rotura por dicho esfuerzo. Se trata de un ensayo destructivo, y ha de realizarse previamente al ensayo de resistencia a compresión, ya que este último emplea las 2 piezas por probeta originadas por la rotura que causa el primero. El método de realización de los ensayos de resistencia tanto a flexión como a compresión se describen en la norma UNE-EN ISO 1015-11. En ella se estipula que, para determinar la resistencia a flexión, se ha de proceder del siguiente modo:

- Se determina la carga necesaria para romper cada probeta, colocando éstas, de dimensiones 160x40x40 mm, sobre dos rodillos con sus ejes separados 100 mm y presionando con un tercer rodillo central hasta producirse la rotura por flexión. La carga máxima, en Newton, que soporta la probeta antes de romper es el dato que se busca.

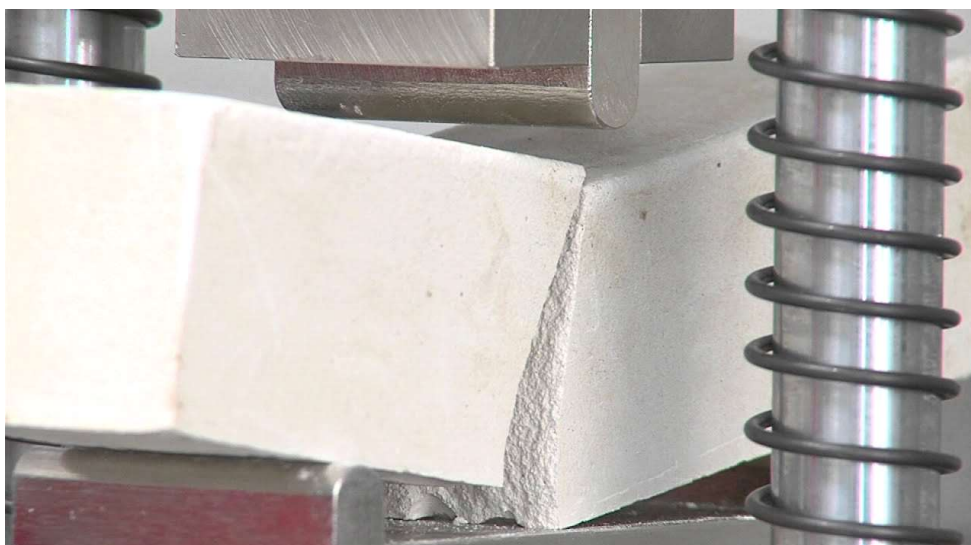


Figura 15: ejemplo de ensayo de resistencia a flexión.
(Foto de stock)

- Una vez obtenidos los resultados de carga de rotura de todas las probetas de la muestra, se calcula la resistencia a flexión propiamente dicha mediante la siguiente expresión:

$$R_F = 0,00234 \times P$$

Donde:

R_F es la resistencia a flexión en N/mm².

P es la carga media de rotura en N de, al menos, tres valores obtenidos.

- **Resultados.**

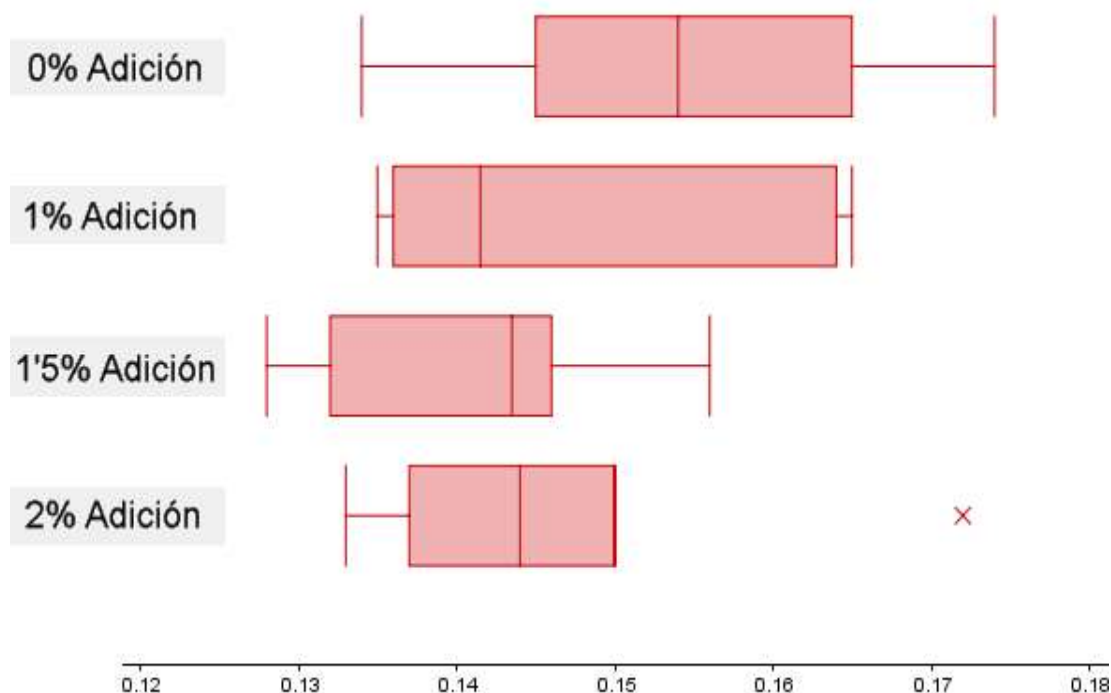
Tras realizar los ensayos de resistencia a flexión siguiendo las directrices expuestas en el punto anterior, el laboratorio nos proporciona las cargas de rotura de todas las probetas de cada muestra, medidas en Tonelada-fuerza (T). Habida cuenta de lo explicado en la norma, se precisará el cambiar de unidad a Newton (1 T = 9807 N), mas no hay por qué hacerlo con todos los valores, ya que el dato que necesitamos para determinar la resistencia a flexión de la muestra es la media de sus cargas de rotura. Por ello, la forma de proceder será analizar los datos de carga de rotura por muestra como tal, y una vez testada su fiabilidad, usar el valor medio para calcular el valor buscado de resistencia a flexión. La relación de los datos de carga de rotura a flexión proporcionados por el laboratorio se reflejan en la tabla que se muestra a continuación:

Probeta nº	Probeta 0% adición	Probeta 1% adición	Probeta 1.5% adición	Probeta 2% adición
	Carga Flexión (T)	Carga Flexión (T)	Carga Flexión (T)	Carga Flexión (T)
1	0.165	0.136	0.146	0.172
2	0.149	0.141	0.156	0.133
3	0.145	0.142	0.144	0.137
4	0.159	0.165	0.132	0.15
5	0.174	0.135	0.143	0.143
6	0.134	0.164	0.128	0.145
MEDIA	0.154	0.147	0.142	0.147

Tabla 5: resultados ensayos resistencia flexión.

- **Análisis de resultados.**

A continuación se procederá a comprobar la homogeneidad de los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a flexión proporcionados por el laboratorio, con el fin de asegurarnos de su fiabilidad y, de esta manera, garantizar la representatividad de sus valores medios, los cuales se emplearán en el cálculo de la resistencia a flexión (N/mm²) mediante la fórmula expresada en la norma. El análisis estadístico de los resultados se realizará tanto visualmente, mediante diagramas de caja, como numéricamente mediante el valor del coeficiente de variación (Cv):



Gráfica 6: análisis homogeneidad, ensayos resistencia flexión, diagramas de caja.

% Adic.	n	Media	σ	s	Min	Q1	Mediana	Q3	Máx	Cv
0	6	0.1543	0.0132	0.0145	0.134	0.145	0.154	0.165	0.174	0.094
1	6	0.1472	0.0125	0.0137	0.135	0.136	0.1415	0.164	0.165	0.093
1.5	6	0.1415	0.0092	0.0101	0.128	0.132	0.1435	0.146	0.156	0.071
2	6	0.1467	0.0126	0.0138	0.133	0.137	0.144	0.15	0.172	0.094

Tabla 6: análisis homogeneidad, ensayos resistencia flexión, estadísticas.

Como en el caso de los ensayos de densidad aparente, los coeficientes de variación (Cv) de magnitudes inferiores a 1 son indicio de que los resultados de los ensayos de resistencia a flexión de todas las muestras poseen una **homogeneidad** consistente. Llama la atención que estos Cv son notable y relativamente mayores que en el caso de los ensayos de densidad (de 0.01 a 0.09); sin embargo, dentro de su mayor magnitud, se mantienen muy similares, cuasi idénticos de hecho, entre las distintas muestras, lo cual parece poner de manifiesto simplemente que los resultados de los ensayos de resistencia a flexión ofrecen por lo general un rango de variaciones algo mayor que los de los ensayos de densidad. Otro aspecto que resulta llamativo es el dato atípico presente en **la muestra de 2% de adición**; una muestra que, de otro modo, ofrece unos resultados que componen un diagrama de caja con unos primer, segundo y tercer cuartiles muy concentrados, presenta un único valor notablemente superior y, por tanto, alejado (0.172). Esto podría apuntar a que el la influencia que ejerce nuestro material de adición podría implicar cierto grado de heterogeneidad en la mezcla, aunque habrá de esperarse a posteriores análisis antes de tener criterios suficientes para confirmar esa teoría. No obstante lo anterior, no puede ponerse en cuestión que existe la suficiente homogeneidad en cada muestra como para que los resultados de los ensayos puedan considerarse fiables y los valores medios, representativos. Con dichos valores medios de las cargas de rotura se procederá a calcular por fin la resistencia a flexión de cada muestra, aplicando la fórmula que figura en la normativa. Los resultados se recogen en la siguiente tabla:

Cantidad de adición (%)	Carga de rotura a flexión (T)	Resistencia a flexión (N/mm ²)
0	0.154	3.542
1	0.147	3.377
1.5	0.142	3.247
2	0.147	3.366

Tabla 7: valores medios de resistencia a flexión.

6.4.2.2. Ensayos de resistencia a compresión.

- **Metodología.**

Los ensayos de resistencia a compresión se encargan de determinar la resistencia del material al esfuerzo compresor a partir de la carga de rotura por dicho esfuerzo; esta es la resistencia principal de los materiales frágiles como la piedra o el mortero endurecido. Al igual que el ensayo de resistencia a flexión, el ensayo de resistencia a compresión implica un proceso destructivo, realizándose sistemáticamente con posterioridad al primero dado que emplea las 2 piezas por probeta originadas por la rotura que ocasiona. El método de ejecución de los ensayos de resistencia a compresión, al igual que los de resistencia a flexión, se registran en la norma UNE-EN ISO 1015-11. De acuerdo a este documento, el procedimiento para determinar la resistencia a compresión es el siguiente:

- Si el ensayo de resistencia a compresión no se realiza inmediatamente después del de flexión, se ha de tener la precaución de guardar los trozos a ensayar en un desecador. Si se estima necesario, puede procederse a la fabricación de más probetas.
- Los trozos de las probetas se colocan en una prensa a compresión, con sus caras laterales hacia arriba y hacia abajo entre sus dos platos de acero de modo que los lados de la probeta que estuvieron en contacto con el molde lo estén ahora con dichos platos en una sección de 40 mm x 40 mm, y procurándose un contacto perfecto. Se aplica una carga de compresión sobre la probeta y se anota el valor de dicha carga en el momento de su rotura.



Figura 16: ejemplo de ensayo de resistencia a compresión. (Ovando de la Cruz y Ruíz Castellanos, 2010)

- Una vez obtenidos los resultados de carga de rotura a compresión de todas los trozos de probeta de la muestra, se halla el valor medio de todos los resultados obtenidos y se calcula la resistencia a compresión propiamente dicha mediante la siguiente expresión:

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

Donde:

R_c es la resistencia a compresión en N/mm².

F_c es la máxima carga de rotura en N.

1600 (40 x 40) es el área de la probeta en mm².

- Resultados.**

Tras la ejecución de los ensayos de resistencia a compresión según lo expuesto en el punto anterior, el laboratorio nos proporciona las cargas de rotura de todos los trozos de probeta de cada muestra, medidas en Tonelada-fuerza (T). Teniendo en cuenta lo establecido en la norma, se precisará el cambio de unidad a Newton (1 T = 9807 N), pero no tiene sentido hacerlo con todos los valores, ya que el dato necesario para determinar la resistencia a compresión de la muestra es la media de todas sus cargas de rotura. Debido a ello, la forma de proceder será analizar los datos de carga de rotura por muestra como tal, y una vez probada su fiabilidad, usar el valor medio para calcular el valor buscado de resistencia a compresión. La relación de los datos de carga de rotura a compresión proporcionados por el laboratorio se reflejan en la siguiente tabla:

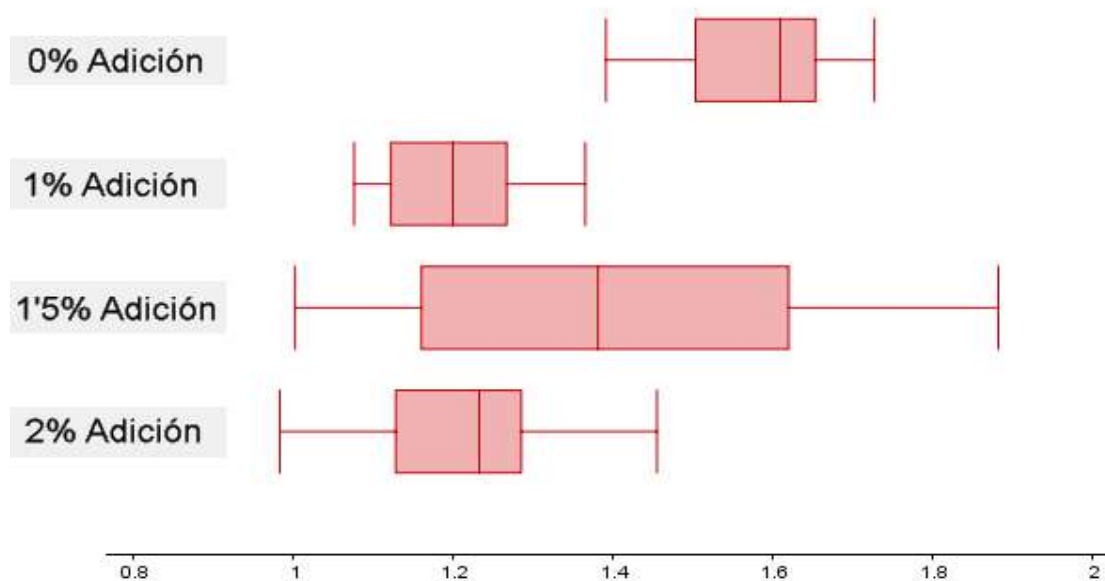
Probeta n°	Probeta 0% adición		Probeta 1% adición		Probeta 1.5% adición		Probeta 2% adición	
	Carga Compresión		Carga Compresión		Carga Compresión		Carga Compresión	
	Mitad A (T)	Mitad B (T)	Mitad A (T)	Mitad B (T)	Mitad A (T)	Mitad B (T)	Mitad A (T)	Mitad B (T)
1	1.642	1.478	1.204	1.203	1.208	1.004	0.983	0.991
2	1.646	1.45	1.272	1.299	1.426	1.002	1.217	1.282
3	1.727	1.528	1.121	1.122	1.336	1.113	1.08	1.176
4	1.617	1.59	1.096	1.076	1.581	1.207	1.248	1.215
5	1.391	1.66	1.133	1.262	1.727	1.556	1.347	1.455
6	1.708	1.601	1.365	1.196	1.658	1.882	1.288	1.254
MEDIA	1.622	1.551	1.199	1.193	1.489	1.294	1.194	1.229
	1.587		1.196		1.392		1.211	

Tabla 8: resultados ensayos resistencia compresión.

- Análisis de resultados.**

El análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión proporcionados por el laboratorio se materializará en dos partes:

La primera parte se ocupa del procedimiento habitual de comprobar la homogeneidad de los resultados obtenidos, con objeto de comprobar su fiabilidad y, de esta manera, garantizar la representatividad de sus valores medios, que son los que se emplearán para el cálculo de la resistencia a compresión (N/mm²) mediante la fórmula reflejada en la norma. De nuevo, el análisis estadístico de estos resultados se ejecutará tanto de forma visual, a través de diagramas de caja, como de forma numérica mediante el valor del coeficiente de variación (Cv):



Gráfica 7: análisis homogeneidad, ensayos resistencia compresión, diagramas de caja.

% Adic.	n	Media	σ	s	Mín	Q1	Mediana	Q3	Máy	Cv
0	12	1.5865	0.0999	0.1043	1.391	1.503	1.609	1.653	1.727	0.065
1	12	1.1958	0.0861	0.0899	1.076	1.1215	1.1995	1.267	1.365	0.075
1.5	12	1.3917	0.2797	0.2921	1.002	1.16	1.381	1.6195	1.882	0.21
2	12	1.2113	0.1326	0.1385	0.983	1.128	1.2325	1.285	1.455	0.11

Tabla 9: análisis homogeneidad, ensayos resistencia compresión, estadísticas.

Como fue el caso en los ensayos anteriores, los coeficientes de variación (Cv) resultan inferiores a 1, lo cual indica que los resultados de los ensayos de resistencia a compresión de todas las muestras pueden tomarse como **homogéneos**. En esta ocasión, el aspecto reseñable son las magnitudes de los Cv de **la muestra de 1.5% de adición** y, en menor medida, de la de 2%, las cuales son notablemente superiores a las otras dos (la de 2% casi el doble que las dos primeras, la de 1.5% el doble que la de 2%); esta dispersión de datos tan diferenciada puede apreciarse de forma inmediata en los diagramas de caja, con la longitud de la muestra de 1.5% claramente destacable, especialmente en sus cuartiles segundo y tercero, en comparación con las demás. Esto podría ser un indicio más que apunta a la teoría previamente planteada de que nuestro material de adición, los trozos de bayeta de microfibra, podrían estar afectando negativamente a la homogeneidad de la mezcla en cierto grado. De hecho, existe un factor a tener en cuenta que quizás podría explicar de algún modo este efecto. Recordemos que tanto las probetas de 1.5% como de 2% son las únicas con adición que se hicieron de una sola tacada (ver punto 6.3.2.). Hacerlas juntas, con una sola masa, pudieron beneficiar a dichas muestras en sus resultados de densidad aparente dada la homogeneidad en el proceso de fabricación; sin embargo, habida cuenta del pequeño porcentaje de adición respecto al yeso, puede que ésta se repartiera peor dentro de la masa, ya que, obviamente, ésta era de mayor magnitud que la empleada para fabricar las probetas por partes. Este hecho habrá de tenerse en cuenta durante los futuros análisis a realizar.

La segunda parte de este análisis consiste en el estudio estadístico, por muestra, de las relaciones entre los resultados a compresión obtenidos por cada par de mitades de probeta. Este estudio pretende afianzar la fiabilidad de los resultados obtenidos mediante la corroboración de la coherencia de dichas relaciones. Con este fin se emplearán **diagramas de dispersión** como el componente visual del análisis, y los **coeficientes de correlación**, de Pearson (r) y de Spearman (ρ), como el componente numérico, mostrándonos la correlación existente entre cada par de conjunto de datos, siendo los valores entre 0 y 1 una correlación positiva (es decir, cuando los datos de un conjunto aumentan los homónimos del otro lo hacen también) y los valores entre -1 y 0 una correlación negativa. A continuación figuran los cuatro diagramas de dispersión, uno por cada muestra, junto con sus correspondientes estadísticas:

0% ADICIÓN. x: carga de comp. mitad A (T), y: carga de comp. mitad B (T)

MediaX	1.6218
MediaY	1.5512
Sx	0.1207
Sy	0.08
r	-0.5675
ρ	-0.3714
Sxx	0.0728
Syy	0.032
Sxy	-0.0274
R ²	0.3221
SSE	0.0217

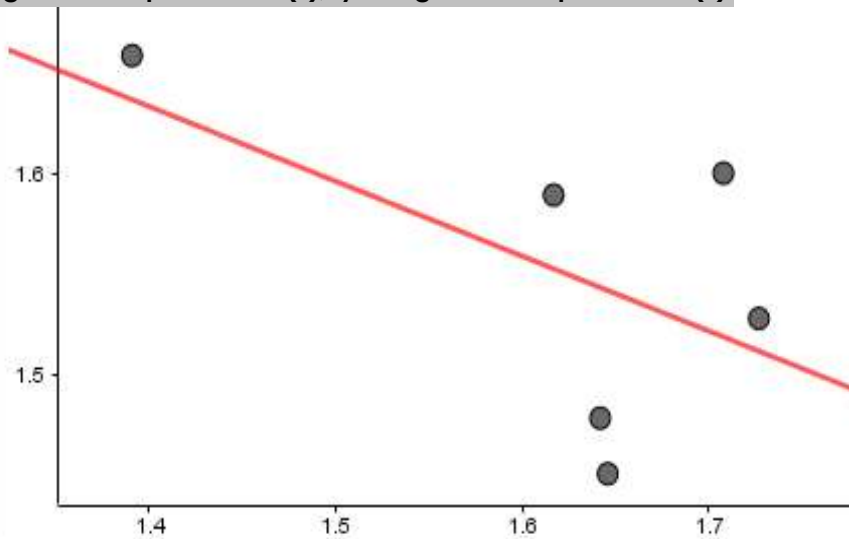


Tabla 10: 0% adición, correlación compresión mitad A-mitad B, estadísticas.

Gráfica 8: 0% adición, correlación compresión mitad A-mitad B, diagrama dispersión.

1% ADICIÓN. x: carga de comp. mitad A (T), y: carga de comp. mitad B (T)

MediaX	1.1985
MediaY	1.193
Sx	0.1039
Sy	0.0835
r	0.4918
ρ	0.6
Sxx	0.054
Syy	0.0348
Sxy	0.0213
R ²	0.2418
SSE	0.0264

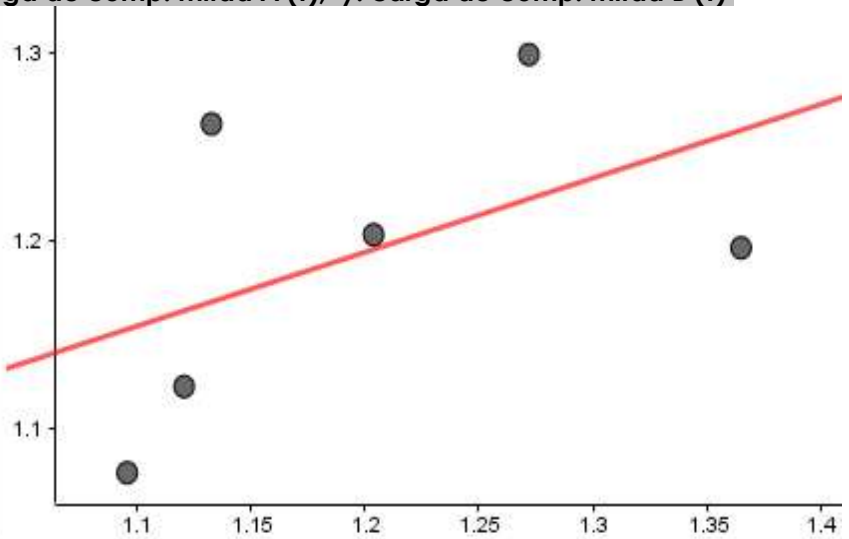


Tabla 11: 1% adición, correlación compresión mitad A-mitad B, estadísticas.

Gráfica 9: 1% adición, correlación compresión mitad A-mitad B, diagrama dispersión.

1.5% ADICIÓN. x: carga de comp. mitad A (T), y: carga de comp. mitad B (T)

MediaX	1.4893
MediaY	1.294
Sx	0.2
Sy	0.3533
r	0.7962
ρ	0.7714
Sxx	0.2
Syy	0.6241
Sxy	0.2813
R ²	0.634
SSE	0.2284

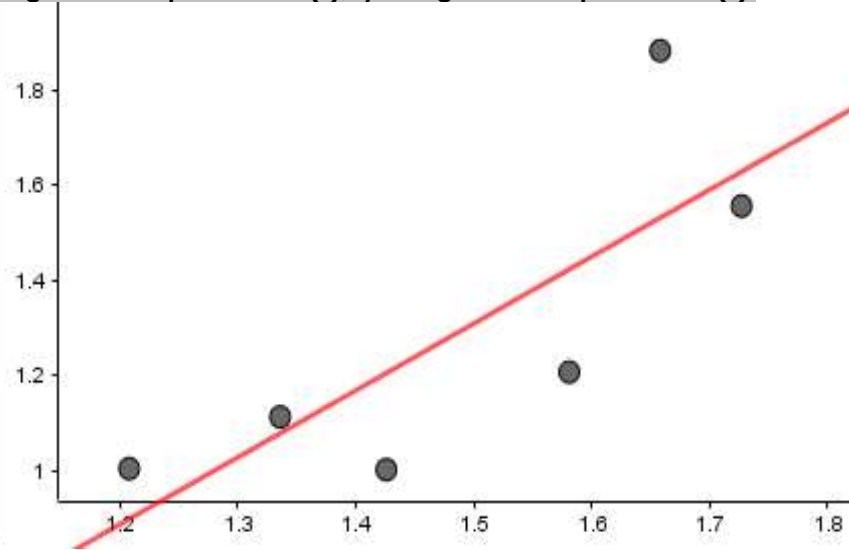


Tabla 12: 1.5% adición, correlación compresión mitad A-mitad B, estadísticas.

Gráfica 10: 1.5% adición, correlación compresión mitad A-mitad B, diagrama dispersión.

2% ADICIÓN. x: carga de comp. mitad A (T), y: carga de comp. mitad B (T)

MediaX	1.1938
MediaY	1.2288
Sx	0.1365
Sy	0.1511
r	0.9079
ρ	0.8286
Sxx	0.0932
Syy	0.1142
Sxy	0.0937
R ²	0.8243
SSE	0.0201

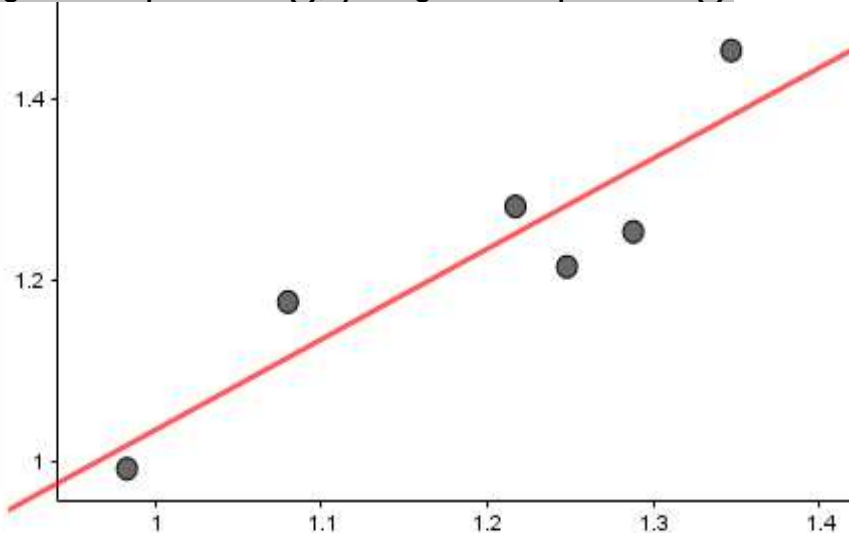


Tabla 13: 2% adición, correlación compresión mitad A-mitad B, estadísticas.

Gráfica 11: 2% adición, correlación compresión mitad A-mitad B, diagrama dispersión.

A la luz de este análisis puede apreciarse que ocurre algo realmente interesante. Para las tres muestras con adición, el análisis evidencia de forma meridiana una correlación claramente positiva, con coeficientes de correlación muy cercanos a 1, entre los resultados de cada par de mitades, es decir, que cuanto mayor es la carga de rotura a compresión de una de las mitades, mayor suele ser la de la otra mitad correspondiente, como dicta la lógica. Sin embargo, se puede comprobar como la tendencia es justamente la contraria en el caso de **las probetas de referencia**, cuyo análisis muestra una más que evidente **correlación negativa**; es decir, cuanto más resiste a compresión una mitad, menos lo suele hacer la otra mitad correspondiente. Este resultado, contrario a toda lógica, significa con toda probabilidad que se produjo algún tipo de anomalía, o bien en al elaboración de estas probetas, o bien en la realización de los ensayos. Dado que nosotros no tomamos parte ni en la fabricación esta muestra de referencia ni en la ejecución de los ensayos de comportamiento mecánico (ver punto 6.3.2.) no

podemos ofrecer más detalles de primera mano respecto a qué tipo de peculiaridad pudiese haber ocurrido. En cualquier caso, la homogeneidad de estos datos en cuestión, demostrada en el análisis anterior, es un factor bastante concluyente, de modo que consideramos que esta anomalía aquí descrita, por sí misma, no deslegitima la validez de los resultados de la muestra de referencia.

Una vez considerados todos los aspectos reseñables y anómalos anteriormente expuestos, la conclusión es que ninguno de ellos es lo suficientemente significativo como para descartar la validez de alguno de los datos obtenidos. Por ello, se asume que existe la suficiente homogeneidad en cada muestra y que, por ende, los resultados de los ensayos pueden considerarse fiables y los valores medios, representativos. Con dichos valores medios de las cargas de rotura se procederá ahora al cálculo de la resistencia a compresión de cada muestra, aplicando la fórmula que figura en la normativa. Los resultados se reflejan en la siguiente tabla:

Cantidad de adición (%)	Carga de rotura a compresión (N/mm ²)	Resistencia a compresión (N/mm ²)
0	1.587	9.724
1	1.196	7.329
1.5	1.392	8.53
2	1.211	7.424

Tabla 14: valores medios de resistencia a compresión.

6.4.3. Ensayos de comportamiento acústico.

- **Metodología.**

En lo que a comportamiento acústico se refiere, el objeto de nuestro interés en esta experiencia será exclusivamente la absorción acústica. El ensayo para determinar la absorción acústica de un material consiste en calcular el coeficiente de absorción de dicho material empleando como herramienta principal un tubo de impedancia, o tubo de Kundt. El procedimiento a seguir para ejecutar este ensayo se refleja en la norma UNE-EN ISO 10534-1. Nuestro grupo tomó parte en la realización del ensayo, siguiendo los pasos que se enumeran a continuación:

- Accedimos al laboratorio de Física de la E.T.S.A. portando nuestras muestras destinadas al ensayo, las cuales se almacenaban hasta el momento en el laboratorio de Construcción. En todo momento, contamos con la guía y el asesoramiento del cuerpo docente, representado por don Diego Frustaglia.



Figura 17: probetas para ensayo de absorción acústica.

- El primer paso consistió en conectar la fuente, la cual alimenta al altavoz que, a su vez, creará la onda estacionaria dentro del tubo de impedancia. Para ello se empleó una señal de 4.00 V.
- Una vez creada la onda estacionaria dentro del tubo, ésta es captada por la sonda: un tubo mucho más fino, también hueco, que penetra en el tubo de impedancia a lo largo de su eje. La sonda, a su vez, está conectada a un micrófono móvil, que es el encargado de captar los datos que sean de nuestro interés de la onda, localizándolos mediante su movimiento hacia dentro o hacia fuera. Éste envía la información a un analizador, el cual consiste en un monitor que nos permite visualizar dicha información y obtener, mediante controles de zoom y un selector en forma de línea discontinua, los datos concretos de cada punto de la onda estacionaria que nos interese.

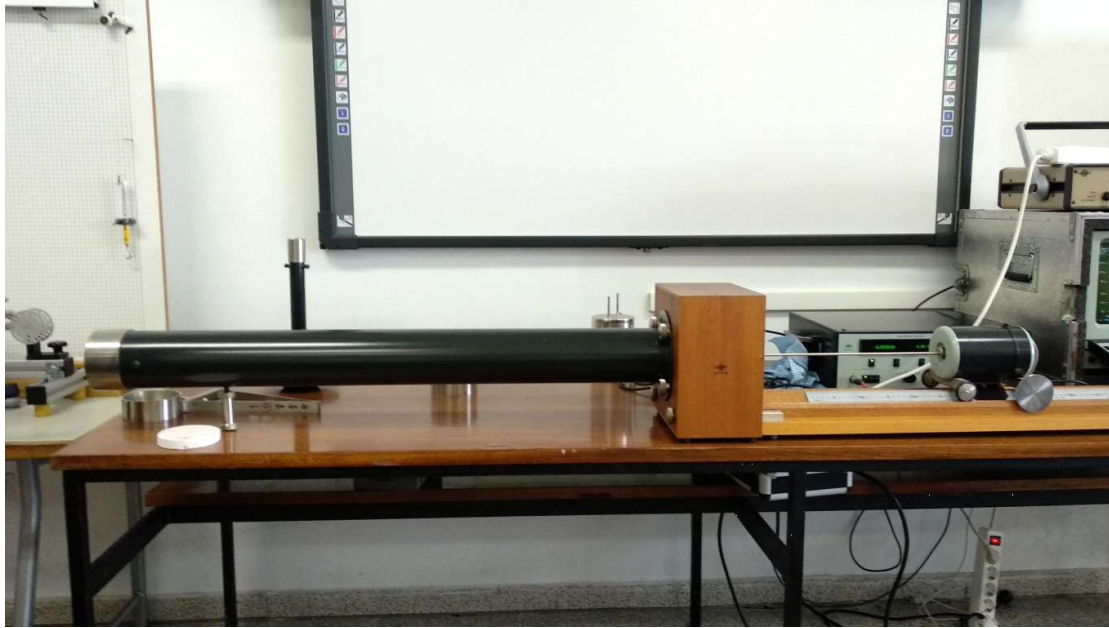


Figura 18: tubo de impedancia del laboratorio de Física de la E.T.S.A.

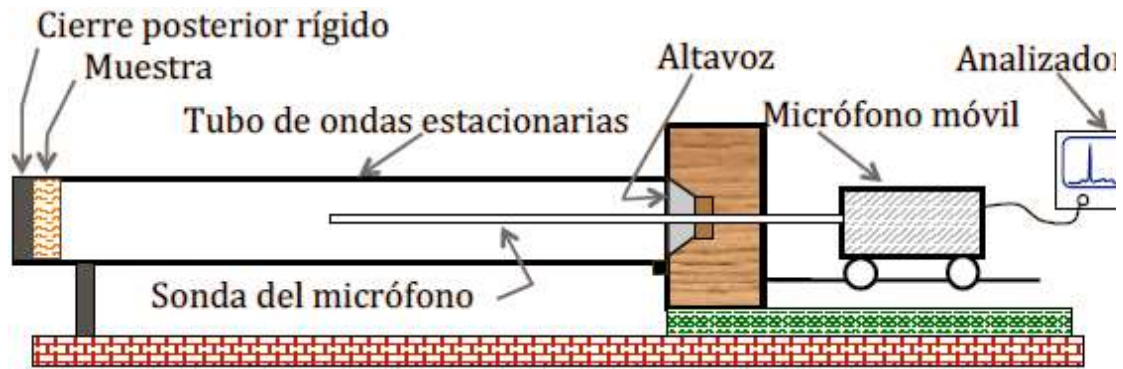


Figura 19: esquema de tubo de impedancia
(Diego Frustaglia, 2019)

- Los datos que buscamos son los valores máximo y mínimo de la presión acústica de la onda estacionaria. Los hallaremos para las frecuencias 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz, que se corresponden con los valores medios de las bandas de octava que comprenden el sonido de la voz humana. El profesor se encargó de realizar todo el proceso de medición para la probeta de referencia, de cuya atenta observación obtuvimos todas las directrices e instrucciones necesarias para afrontar la medición del resto de muestras por nuestra cuenta.
- Una vez el profesor hubo terminado las mediciones correspondientes a la muestra de referencia y se hubieran anotado los resultados obtenidos, comenzó la medición por nuestra parte de las otras dos muestras (PAYM/2-1 y PAYM/2-2). El proceso consistió en desplazar el micrófono móvil para captar con la sonda los puntos de máxima y mínima amplitud de la onda estacionaria, siempre asegurándonos de no buscarlos muy cerca de la muestra, sino en el centro del tubo de impedancia. Una vez visualizados dichos puntos en la pantalla del analizador, se seleccionan con el selector y se anotan los datos, en múltiplos de voltio, que su lectura nos proporciona.



Figuras 20 y 21: ejemplo de medición de presión mínima (izquierda) y máxima (derecha) a 1000 Hz para la muestra PAYM/2-1.

- Una vez obtenidos y anotados todos los datos, el paso final del proceso es calcular el coeficiente de absorción acústica propiamente dicho. Para ello, hemos de hallar en primer lugar la razón de onda estacionaria (n), que resulta de dividir el valor de la presión máxima por el de la presión mínima para cada frecuencia. Con ese valor ya determinado, puede procederse a calcular el valor del coeficiente de absorción empleando la siguiente expresión:

$$\alpha_{NOR} = 1 - r^2 = \frac{4n}{(n+1)^2}$$

Donde:

α_{NOR} es el coeficiente de absorción acústica.

r es el coeficiente de reflexión.

n es la razón de onda estacionaria, que es igual a la presión acústica máxima dividida por la presión acústica mínima de la onda estacionaria.

- Resultados.**

A continuación se muestra la relación de datos obtenidos en los ensayos de absorción acústica, así como los resultados del cálculo de sus correspondientes coeficiente de absorción, clasificados en tablas según la muestra a la que correspondan:

Probeta de referencia:

PROBETA REFERENCIA 0% ADICIÓN				
FRECUENCIA	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
P MÁX. (mV)	33	29,4	5,79	0,278
P MIN. (mV)	0,95	1,32	0,323	0,013
n	34,74	22,27	17,93	21,38
α_{nor}	0,11	0,16	0,20	0,17

Tabla 15: resultados absorción acústica, probeta referencia.

Probeta PAYM/2-1:

PROBETA REFERENCIA 2% ADICIÓN + CAPA SUPERPUESTA				
FRECUENCIA	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
P MÁX. (mV)	33,1	29,7	5,75	0,289
P MIN. (mV)	0,67	1,2	0,694	0,0127
n	49,40	24,75	8,29	22,76
α_{HOR}	0,08	0,15	0,38	0,16

Tabla 16: resultados absorción acústica, probeta PAYM/2-1.

Probeta PAYM/2-2:

PROBETA REFERENCIA 2% ADICIÓN + CAPA COMPACTADA				
FRECUENCIA	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
P MÁX. (mV)	34	29,2	5,57	0,282
P MIN. (mV)	1,02	1,13	0,463	0,0118
n	33,33	25,84	12,03	23,90
α_{HOR}	0,11	0,14	0,28	0,15

Tabla 17: resultados absorción acústica, probeta PAYM/2-2.

- **Análisis de resultados.**

En este caso, la confirmación de la fiabilidad de los resultados procede de una minuciosa toma de datos registrada en fotografía y supervisada en todo instante por el cuerpo docente, así como de un proceso de cálculo cuidado y revisado. No tiene sentido estudiar estadísticamente la homogeneidad de datos dentro de una misma muestra, ya que no existen diferentes datos sobre un mismo aspecto. Cada uno de los datos corresponde a una frecuencia diferente en cada una de las muestras, de modo que no hay análisis estadístico posible. Por otra parte, los resultados de absorción acústica para diferentes frecuencias no tienen que ser homogéneos entre ellos. Respecto a la comparativa de resultados entre las muestras, ese punto se desarrollará en la siguiente sección de este documento.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS

En la presente sección de este documento se procederá a la realización de un análisis estadístico comparativo de los datos obtenidos en los ensayos descritos en la sección anterior. Los resultados de dicho análisis y las conclusiones obtenidas de ellos nos proporcionarán los criterios necesarios para la elección de un material determinado a emplear en el diseño de un nuevo elemento constructivo.

El proceso analítico se realizará progresiva y ordenadamente, estructurándose en los siguientes pasos:

- Estudio analítico de las relaciones físico-mecánicas de cada muestra de probetas mecánicas. Se pretende comprobar la existencia de algún tipo de patrón definido en las relaciones entre densidad y comportamiento mecánico por cada muestra. El objetivo primordial de este obtener unos primeros indicios sobre la influencia que ejerce nuestro material de adición, los trozos de bayeta de microfibra, en las propiedades del material resultante. Estos indicios se tomarán como primera referencia, y se comprobará si son refrendados o no por los resultados de los análisis posteriores.
- Análisis de las relaciones estadísticas entre las distintas muestras de probetas mecánicas. Se trata de evaluar la potencial correlación entre los diferentes valores medios de las características mecánicas de cada muestra y su porcentaje de material de adición, además de observar cuán acusada es la variación entre dichos valores. El objetivo buscado en este paso es determinar con la mayor precisión posible la influencia que, en su caso, el material de adición posea sobre las propiedades mecánicas del producto, así como acotar los valores más favorables de dicha influencia.
- Evaluación de las relaciones estadísticas de los valores de absorción de las diferentes probetas acústicas. Se llevará a cabo el análisis de la correlación entre los valores de absorción acústica obtenidos para las diferentes probetas y las frecuencias, medias de bandas de octava, a los que éstos corresponden, además de comprobarse el grado de variación entre dichos valores. Con este paso se pretende categorizar el impacto que los acabados superficiales propuestos ejercen sobre la capacidad de absorción acústica del producto, centrando de nuevo nuestro interés en los valores más favorables.
- Análisis de resultados y conclusiones. El último paso consistirá en someter los resultados analíticos obtenidos anteriormente a un proceso deliberativo del cual se extraerán las conclusiones que nos servirán de base para la elección del material a emplear en el diseño del nuevo producto.

El criterio metodológico empleado en el desarrollo de este proceso procurará la consecución en lo posible de una evaluación tanto visual como numérica. La comprobación de la correlación entre pares de grupos de datos se resolverá mediante el empleo de **diagramas de dispersión**, representación de la nube de puntos generada por dichos datos donde se aprecia de forma bastante intuitiva el tipo de correlación que existe gracias a la pendiente de la **recta de regresión**. En esta ocasión los valores más significativos son los coeficientes de correlación: el **coeficiente de correlación de Pearson (r)** y el **coeficiente de correlación de Spearman (p)**. Ambos indican la clase de correlación existente entre el par de conjunto de datos, siendo los valores entre 0 y 1 una correlación positiva (es decir, cuando los datos de un conjunto aumentan los homónimos del otro lo hacen también) y los valores entre -1 y 0 una correlación negativa (es decir, cuando los datos de un conjunto aumentan los homónimos del otro disminuyen sistemáticamente a su vez), y donde -1 y 1 son correlaciones perfectas (negativa y positiva respectivamente) y 0 es la ausencia, al menos aparente, de correlación.

La herramienta principal que se empleará para la realización de todo el proceso analítico será el programa **GeoGebra Classic 5**.

7.1. Análisis de la densidad frente a la flexión.

El primer estudio analítico consistirá en comprobar el tipo de correlación que existe entre la densidad aparente y el comportamiento ante la flexión de cada muestra. Mediante el cotejo de los resultados obtenidos en este análisis podrá comenzar a determinarse el carácter de la influencia del material de adición elegido en el producto final. A continuación figuran los diagramas de dispersión correspondientes, acompañados de sus respectivos datos de los coeficientes de correlación:

0% ADICIÓN. x: densidad aparente (g/cm³), y: carga de flexión (T)

MediaX	1.2528
MediaY	0.1543
Sx	0.0156
Sy	0.0145
r	0.348
ρ	0.2571
Sxx	0.0012
Syy	0.0011
Sxy	0.0004
R ²	0.1211
SSE	0.0009

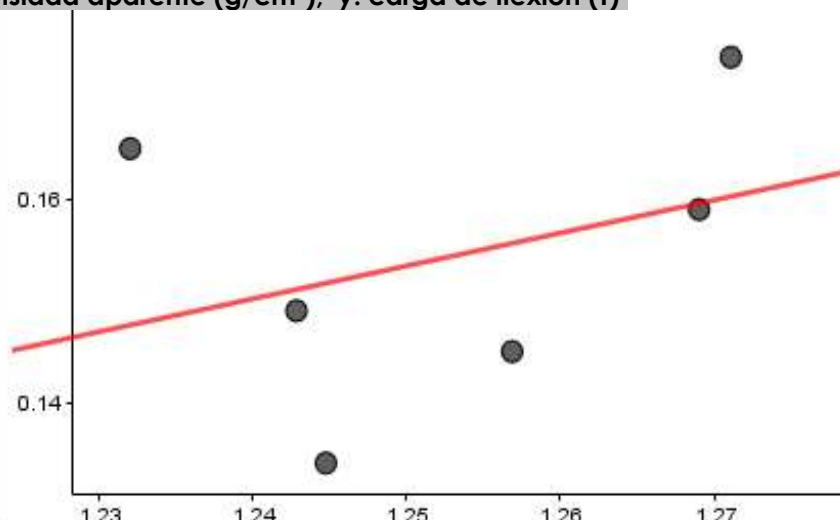


Tabla 18: 0% adición, correlación densidad - carga rotura flexión, estadísticas.

Gráfico 12: 0% adición, correlación densidad - carga rotura flexión, diagrama dispersión.

1% ADICIÓN. x: densidad aparente (g/cm³), y: carga de flexión (T)

MediaX	1.2474
MediaY	0.1472
Sx	0.0262
Sy	0.0137
r	-0.8162
ρ	-0.6
Sxx	0.0034
Syy	0.0009
Sxy	-0.0015
R ²	0.6661
SSE	0.0003

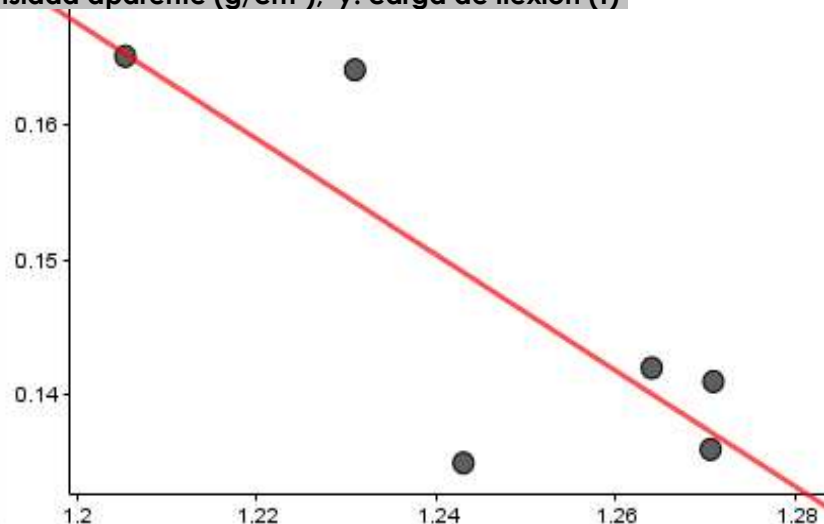


Tabla 19: 1% adición, correlación densidad - carga rotura flexión, estadísticas.

Gráfico 13: 1% adición, correlación densidad - carga rotura flexión, diagrama dispersión.

1.5% ADICIÓN. x: densidad aparente (g/cm³), y: carga de flexión (T)

MediaX	1.2624
MediaY	0.1415
Sx	0.0122
Sy	0.0101
r	-0.3855
ρ	-0.3714
Sxx	0.0007
Syy	0.0005
Sxy	-0.0002
R ²	0.1486
SSE	0.0004

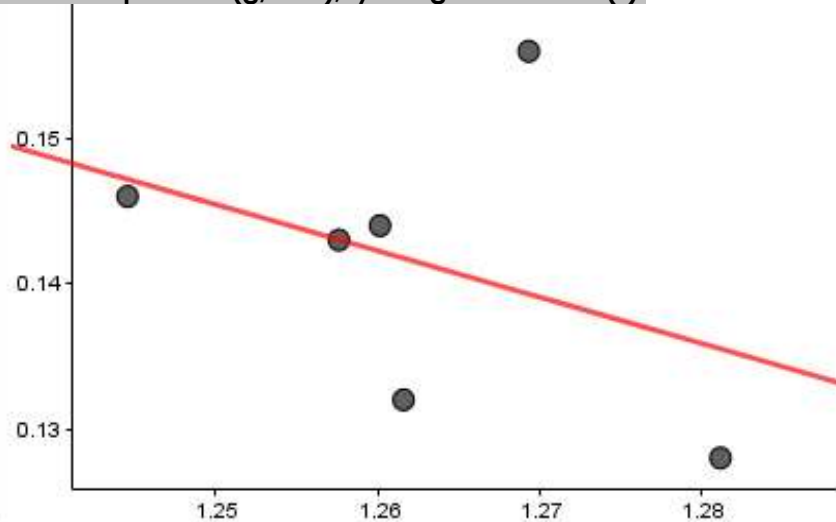


Tabla 20: 1.5% adición, correlación densidad - carga rotura flexión, estadísticas.

Gráfica 14: 1.5% adición, correlación densidad - carga rotura flexión, diagrama dispersión.

2% ADICIÓN. x: densidad aparente (g/cm³), y: carga de flexión (T)

MediaX	1.2718
MediaY	0.1467
Sx	0.017
Sy	0.0138
r	-0.4282
ρ	-0.4857
Sxx	0.0014
Syy	0.0009
Sxy	-0.0005
R ²	0.1834
SSE	0.0008

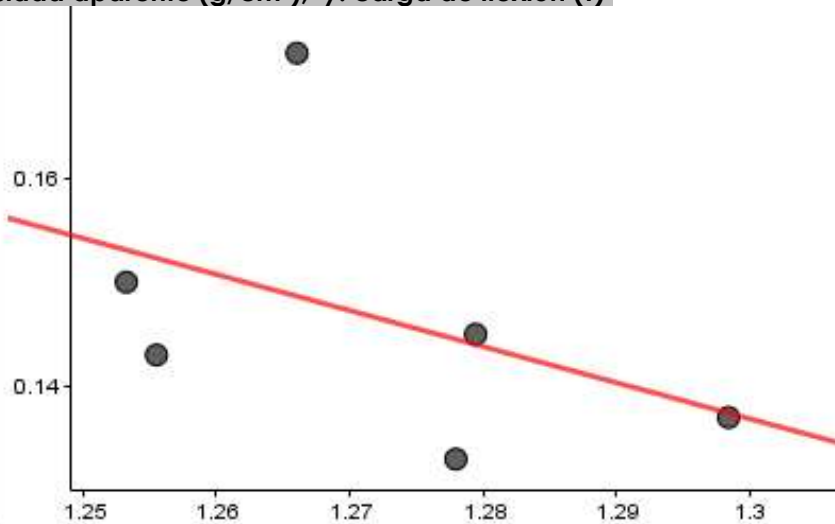


Tabla 21: 2% adición, correlación densidad - carga rotura flexión, estadísticas.

Gráfica 15: 2% adición, correlación densidad - carga rotura flexión, diagrama dispersión.

Tras observar los resultados de este análisis inicial, puede apreciarse con claridad un hecho tan significativo como poco halagüeño. En el caso de la muestra de referencia (0% material de adición, recordemos) la correlación entre densidad y carga de rotura a flexión es positiva; esto es, a medida que aumenta la densidad, también lo hace la carga a flexión que soporta, lo cual es, por otra parte, un resultado bastante lógico. Por contra, en el resto de muestras, todas ellas con algún porcentaje de adición, la tendencia es notablemente la opuesta: a medida que aumenta la densidad de la probeta, disminuye la carga necesaria para romperla mediante un esfuerzo flector. Se trata de una **correlación claramente negativa**, llegando incluso a ser muy pronunciada en un caso, el de la muestra de 1.5% de adición, con una recta de regresión casi perpendicular a la bisectriz de los ejes y unos coeficientes de correlación muy cercanos a -1. Todo ello parece apuntar a que la influencia de nuestra adición no resulta positiva para el producto final, pues parece ser que cuanto más participe dicha adición en la densidad del material, es decir, cuando exista una mayor concentración del porcentaje total de adición de una

misma tongada de mezcla en una sola de las probetas o elementos fabricados con ella, peor será su comportamiento ante la flexión. Esperaremos a los análisis posteriores para comprobar si esta tendencia perniciosa se confirma.

7.2. Análisis de la densidad frente a la compresión.

El segundo paso en nuestro análisis se ocupará de estudiar el carácter de la correlación existente entre la densidad aparente y el comportamiento ante esfuerzos de compresión en cada muestra. Una vez más, cotejar los resultados obtenidos podrá ayudarnos a esbozar el tipo de influencia que tiene nuestro material de adición sobre las propiedades del producto final. Los diagramas de dispersión pertinentes, junto a sus correspondientes coeficientes de correlación, se muestran a continuación:

0% ADICIÓN. x: densidad aparente (g/cm³), y: carga de compresión (T)

MediaX	1.2528
MediaY	1.5865
Sx	0.0156
Sy	0.05
r	-0.0736
ρ	-0.1429
Sxx	0.0012
Syy	0.0125
Sxy	-0.0003
R ²	0.0054
SSE	0.0124

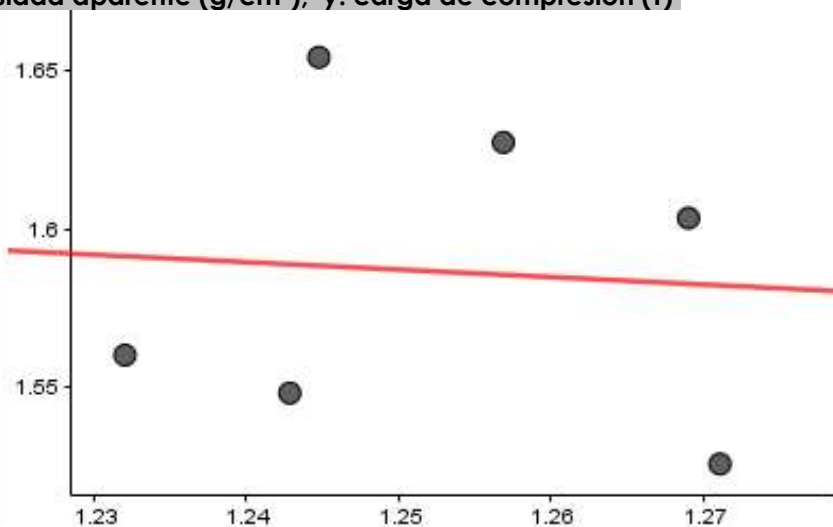


Tabla 22: 0% adición, correlación densidad - carga rotura compresión, estadísticas.

Gráfica 16: 0% adición, correlación densidad - carga rotura compresión, diagrama dispersión.

1% ADICIÓN. x: densidad aparente (g/cm³), y: carga de compresión (T)

MediaX	1.2474
MediaY	1.1958
Sx	0.0262
Sy	0.0811
r	0.4024
ρ	0.6
Sxx	0.0034
Syy	0.0329
Sxy	0.0043
R ²	0.1619
SSE	0.0275

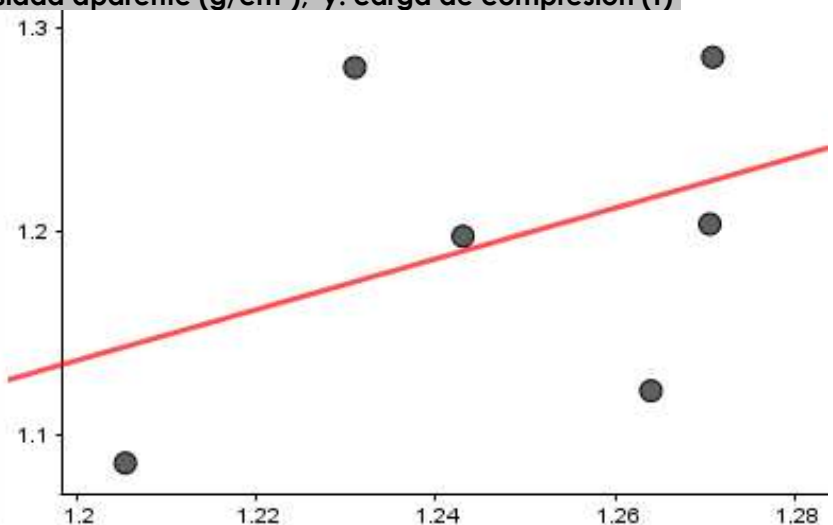


Tabla 23: 1% adición, correlación densidad - carga rotura compresión, estadísticas.

Gráfica 17: 1% adición, correlación densidad - carga rotura compresión, diagrama dispersión.

1.5% ADICIÓN. x: densidad aparente (g/cm³), y: carga de compresión (T)

MediaX	1.2624
MediaY	1.3917
Sx	0.0122
Sy	0.2633
r	0.6302
ρ	0.4857
Sxx	0.0007
Syy	0.3467
Sxy	0.0101
R ²	0.3972
SSE	0.209

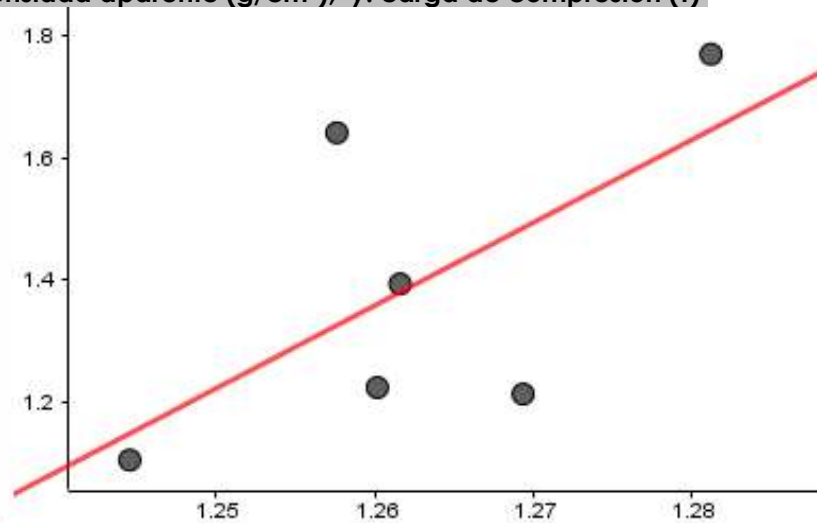


Tabla 23: 1.5% adición, correlación densidad - carga rotura compresión, estadísticas.

Gráfica 18: 1.5% adición, correlación densidad - carga rotura compresión, diagrama dispersión.

2% ADICIÓN. x: densidad aparente (g/cm³), y: carga de compresión (T)

MediaX	1.2718
MediaY	1.2113
Sx	0.017
Sy	0.1405
r	-0.3097
ρ	-0.1429
Sxx	0.0014
Syy	0.0987
Sxy	-0.0037
R ²	0.0959
SSE	0.0892

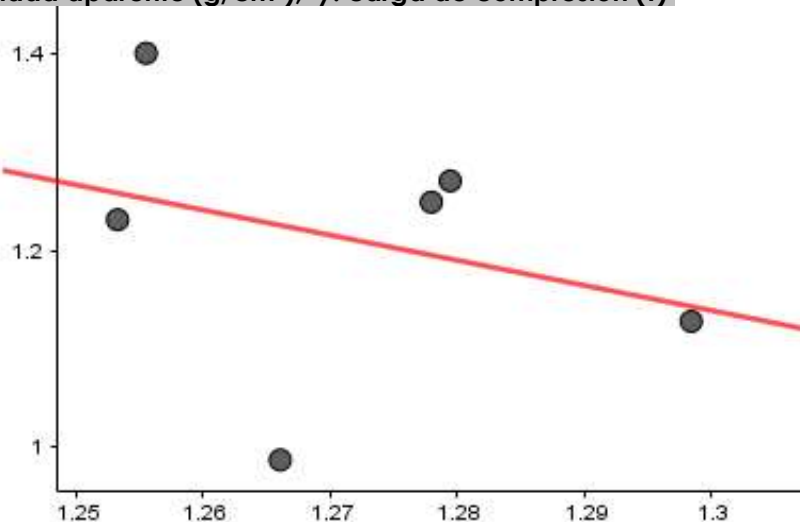


Tabla 24: 2% adición, correlación densidad - carga rotura compresión, estadísticas.

Gráfica 19: 2% adición, correlación densidad - carga rotura compresión, diagrama dispersión.

Al contrario de lo que ocurría en el análisis anterior, en éste los resultados no ofrecen una visión general concluyente. Por una parte, tenemos una correlación ligera pero claramente negativa entre densidad y carga a compresión en la muestra de referencia. Por otra parte, en las muestras de 1% y 1.5% de adición aparece una firme correlación positiva, lo cual parecería marcar una de tendencia de influencia positiva de la densidad que aporta la adición al material, si no fuese porque tal tendencia queda quebrantada por los datos correspondiente a la muestra de 2% de adición, donde la correlación vuelve a ser incuestionablemente negativa. Habida cuenta de lo anterior, hemos de asumir los resultados de este análisis como **no concluyentes**; el hecho de que no se haya encontrado una correlación consistente entre densidad y carga a compresión no significa exclusivamente que no la haya, también puede significar que no se poseen los datos suficientes para determinar dicha correlación. Lo ideal sería realizar más probetas y ensayos al respecto, pero lamentablemente eso queda fuera de nuestro ámbito y posibilidades.

Por otra parte, centrémonos en otro de los datos significativos ofrecidos por este análisis: la **correlación negativa de la probeta de referencia** (0% adición). Si bien se trata de una correlación no muy pronunciada, es decir, sus coeficientes de correlación son bastante más cercanos a 0 que a -1, lo cierto es que este resultado contrasta con el obtenido en el análisis de la relación densidad/carga a flexión para esta misma muestra, donde la correlación es positiva, como, por otra parte, dictaría la lógica. Es decir, que a medida que aumenta la densidad de la probeta, aumenta su resistencia a flexión a la vez que disminuye su resistencia a compresión. Quizás por sí mismo este hecho podría tomarse como poco relevante, pero recordemos el análisis de la relación entre las cargas a compresión de cada par de mitades de probeta que se realizó con anterioridad (ver punto 6.4.2.2.) donde también se obtuvo una peculiar correlación negativa para la muestra de referencia. Teniendo en cuenta estos dos factores juntos, todo parece apuntar a que se confirma la teoría de que ocurrió alguna anomalía con la muestra de referencia, bien en el proceso de fabricación de las probetas o en la ejecución de los ensayos en el laboratorio.

Para resumir, la conclusión de este análisis es doble. Por un lado, los resultados respecto a la influencia de la densidad en la resistencia a compresión del material no son concluyentes. Por otro, parece ser que existió algún tipo de anomalía con la muestra de referencia de probetas mecánicas, relacionada con su fabricación o con la ejecución de sus ensayos.

7.3. Análisis de los valores mecánicos medios.

Seguidamente se procederá al análisis de la correlación existente entre los valores medios de las diferentes propiedades fisico-mecánicas de las muestras y la cantidad de material de adición que éstas poseen. Se trata de un análisis de gran importancia, pues éste ofrecerá información directa sobre un aspecto primordial objeto de nuestro interés: la influencia que ejerce el material de adición sobre las propiedades y características del producto final. A continuación se proporciona todo el material, diagramas y datos que corresponden a este análisis:

Cantidad de adición (%)	Densidad aparente (g/cm ³)	Resistencia a flexión (N/mm ²)	Resistencia a compresión (N/mm ²)
0	1.253	3.542	9.724
1	1.247	3.377	7.329
1.5	1.262	3.247	8.53
2	1.272	3.366	7.424

Tabla 25: valores medios de probetas mecánicas

x: cantidad de adición (%), y: densidad aparente (g/cm³)

MediaX	1.125
MediaY	1.2586
Sx	0.8539
Sy	0.0107
r	0.7594
ρ	0.8
Sxx	2.1875
Syy	0.0003
Sxy	0.0209
R ²	0.5768
SSE	0.0001

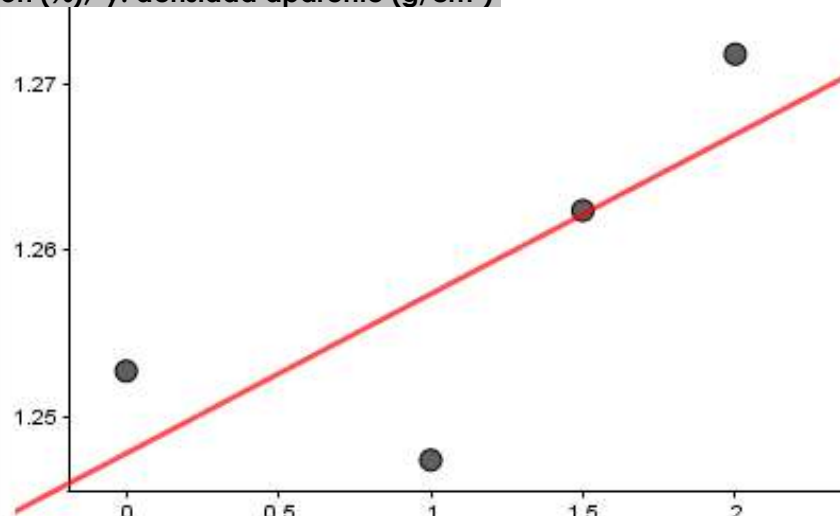


Tabla 26: correlación % de adición - densidad, estadísticas.

Gráfica 20: correlación % de adición - densidad, diagrama dispersión.

x: cantidad de adición (%), y: resistencia a flexión (N/mm²)

MediaX	1.125
MediaY	3.3829
Sx	0.8539
Sy	0.121
r	-0.7863
ρ	-0.8
Sxx	2.1875
Syy	0.044
Sxy	-0.2438
R ²	0.6183
SSE	0.0168

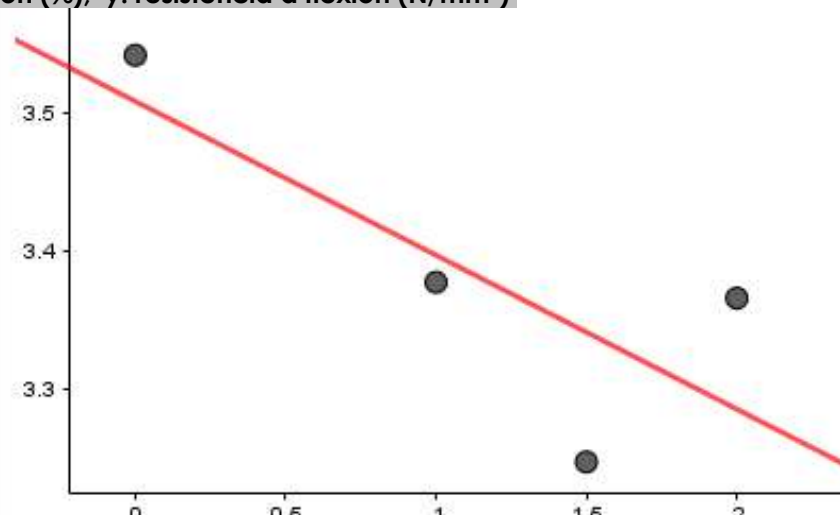


Tabla 27: correlación % de adición - resistencia a flexión, estadísticas.

Gráfica 21: correlación % de adición - resistencia a flexión, diagrama dispersión.

x: cantidad de adición (%), y: resistencia a compresión (N/mm²)

MediaX	1.125
MediaY	8.2518
Sx	0.8539
Sy	1.1226
r	-0.7513
ρ	-0.4
Sxx	2.1875
Syy	3.7805
Sxy	-2.1605
R ²	0.5644
SSE	1.6468

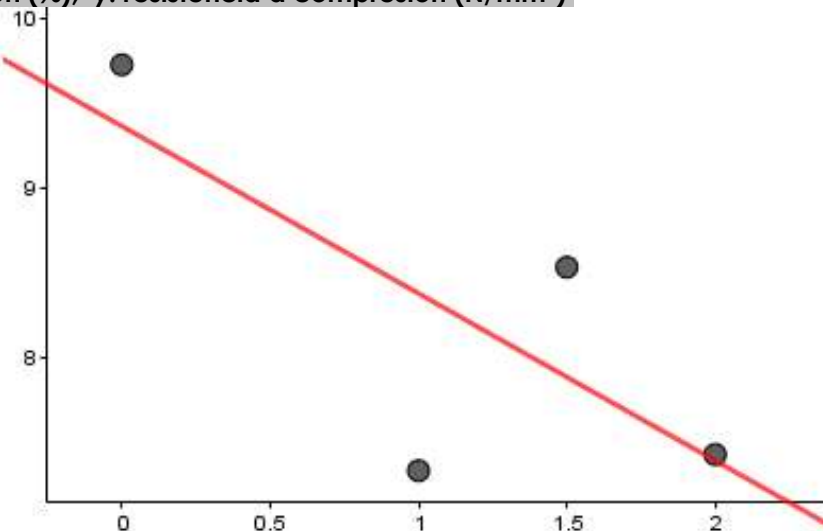


Tabla 28: correlación % de adición - resistencia a compresión, estadísticas.

Gráfica 22: correlación % de adición - resistencia a compresión, diagrama dispersión.

Tras examinar los diagramas y datos obtenidos mediante este análisis, puede afirmarse que las conclusiones son tan evidentes como poco deseables. Y si bien son poco deseables, no puede decirse que no sean esperables, habida cuenta del bagaje acumulado a través de todos los análisis previamente realizados hasta ahora. Aquí podemos observar con total claridad como se cumplen las peores expectativas respecto a la influencia del material de adición al producto final. Por un lado, se comprueba cómo la correlación entre cantidad de adición y densidad es fuertemente positiva, con una línea de regresión casi coincidente con la bisectriz y unos coeficientes de correlación muy cercanos a 1; esto nos dice que **a medida que aumenta la adición también lo hace la densidad del material**, que, teniendo en cuenta las hipótesis de partida consideradas (ver punto 4.), lo que implica es un aumento de su masa. Sin embargo, este aumento de densidad no viene acompañado de una mejora en los comportamientos mecánicos del producto, sino justo lo contrario. Podemos observar con claridad en los diagramas que relacionan la cantidad de adición con las resistencias tanto a flexión como a compresión cómo se produce una correlación pronunciadamente negativa, con coeficientes de correlación muy cercanos a -1, lo que significa que **a mayor adición, peor comportamiento mecánico del material**.

Las conclusiones son inequívocas. La adición de trozos de bayeta de microfibras a la mezcla sólo causa perjuicio al elemento final elaborado con ésta. Nuestro material de adición elegido no sólo causa una merma en las propiedades mecánicas del producto, sino que además no posee la capacidad redentora de producir un efecto aligerante, más bien todo lo contrario. Es por ello que, si de verdad está en nuestro interés el hallar una cualidad que redima a la idea de emplear este residuo como aditivo para el yeso, debemos centrar nuestros esfuerzos de búsqueda en otros aspectos independientes a las características físico-mecánicas del material, como por ejemplo sus propiedades acústicas, que es precisamente lo que analizaremos en las siguientes líneas.

7.4 Análisis de la dosificación frente a la absorción acústica.

Nos disponemos a analizar el tipo de influencia, si la hubiere, que ejerce nuestra adición de trozos de bayetas de microfibra sobre las propiedades acústicas del producto final, centrándonos, como ya se ha mencionado anteriormente, en su capacidad de absorción. Cabe recordar que lo que más afecta a esta capacidad es el acabado superficial del elemento, de manera que, si bien las probetas a comparar con la de referencia poseen un 2% de adición en su composición, lo que principalmente estamos juzgando con estos análisis es el efecto de aditivo en la composición de su capa más exterior, diseñada para ello. Con este fin, se analizará la representación grafica de la relación entre sus valores de coeficiente de absorción y la frecuencia a la que corresponden, observándose las características de la curva de regresión poligonal que ésta dibuja. A continuación se proporciona todo el material pertinente a este análisis, incluyendo tablas, diagramas y datos:

% ADICIÓN + ACABADO	α_{NOR} PARA FRECUENCIA			
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
0%	0,11	0,16	0,20	0,17
2% + CAPA SUPERPUESTA	0,08	0,15	0,38	0,16
2% + CAPA COMPACTADA	0,11	0,14	0,28	0,15

Tabla 29: valores de coeficientes de absorción de probetas acústicas

Referencia. x: frecuencia (Hz), y: coeficiente de absorción

MediaX	937.5
MediaY	0.16
Sx	773.924
Sy	0.0374
r	0.5468
ρ	0.8
Sxx	1796875
Syy	0.0042
Sxy	47.5
R ²	0.987
SSE	0.0001

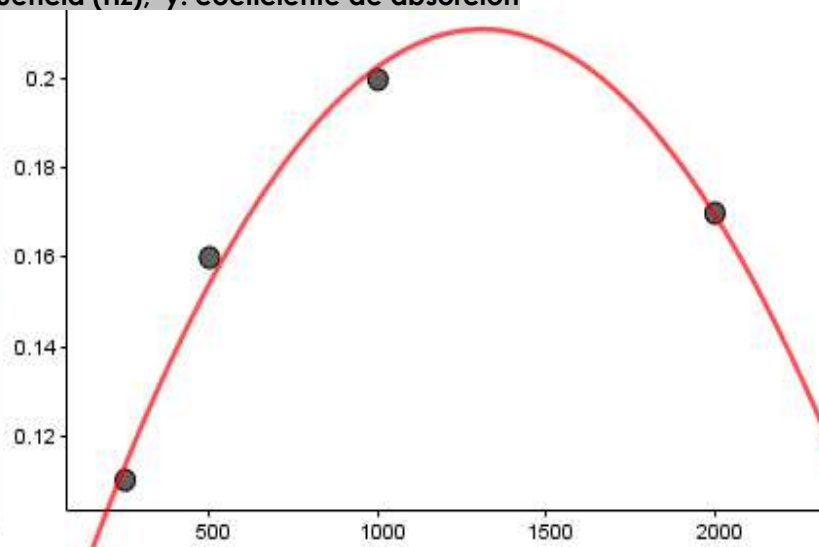


Tabla 30: Ref, correlación frecuencia - coef. absorción, estadísticas.

Gráfica 23: Ref, correlación frecuencia - coef. absorción, diagrama dispersión.

Capa superpuesta. x: frecuencia (Hz), y: coeficiente de absorción

MediaX	937.5
MediaY	0.1925
Sx	773.924
Sy	0.13
r	0.2423
ρ	0.8
Sxx	1796875
Syy	0.0507
Sxy	73.125
R ²	0.9311
SSE	0.0035

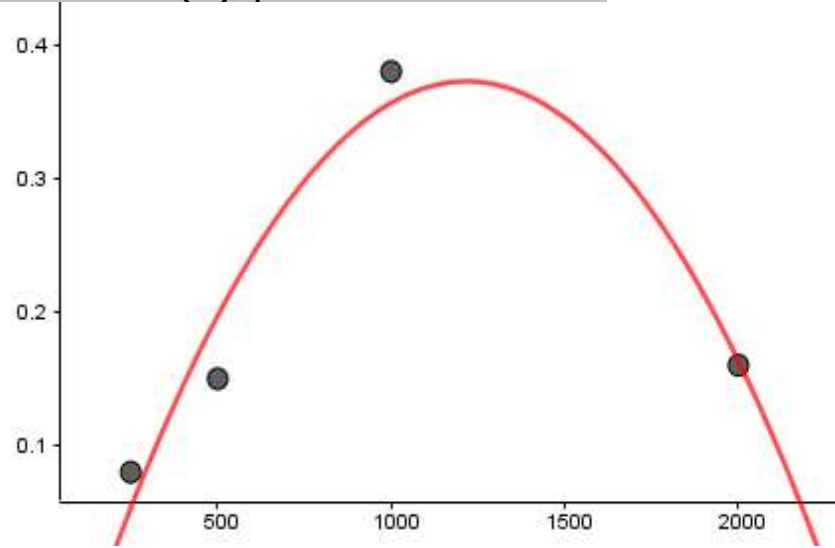


Tabla 31: PAYM/2-1, correlación frecuencia - coef. absorción, estadísticas.

Gráfico 24: PAYM/2-1, correlación frecuencia - coef. absorción, diagrama dispersión.

Capa compactada. x: frecuencia (Hz), y: coeficiente de absorción

MediaX	937.5
MediaY	0.17
Sx	773.924
Sy	0.0753
r	0.2289
ρ	0.8
Sxx	1796875
Syy	0.017
Sxy	40
R ²	0.8989
SSE	0.0017

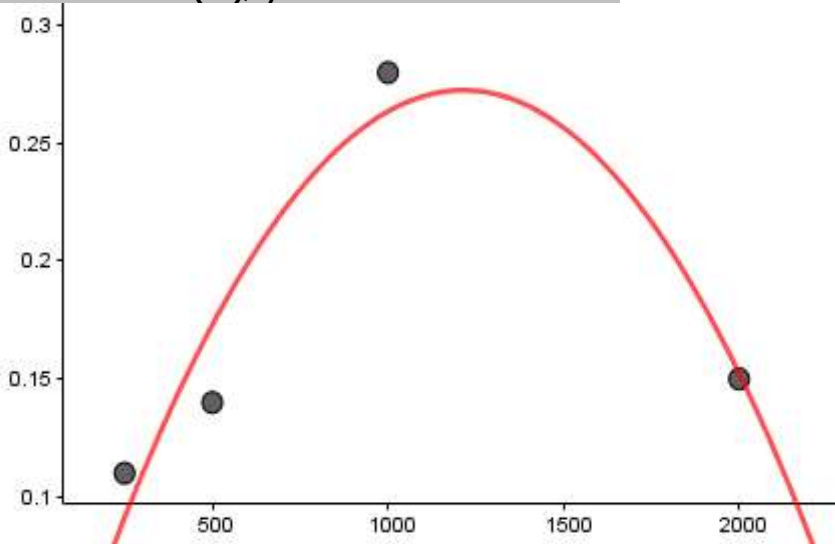


Tabla 32: PAYM/2-2, correlación frecuencia - coef. absorción, estadísticas.

Gráfico 25: PAYM/2-2, correlación frecuencia - coef. absorción, diagrama dispersión.

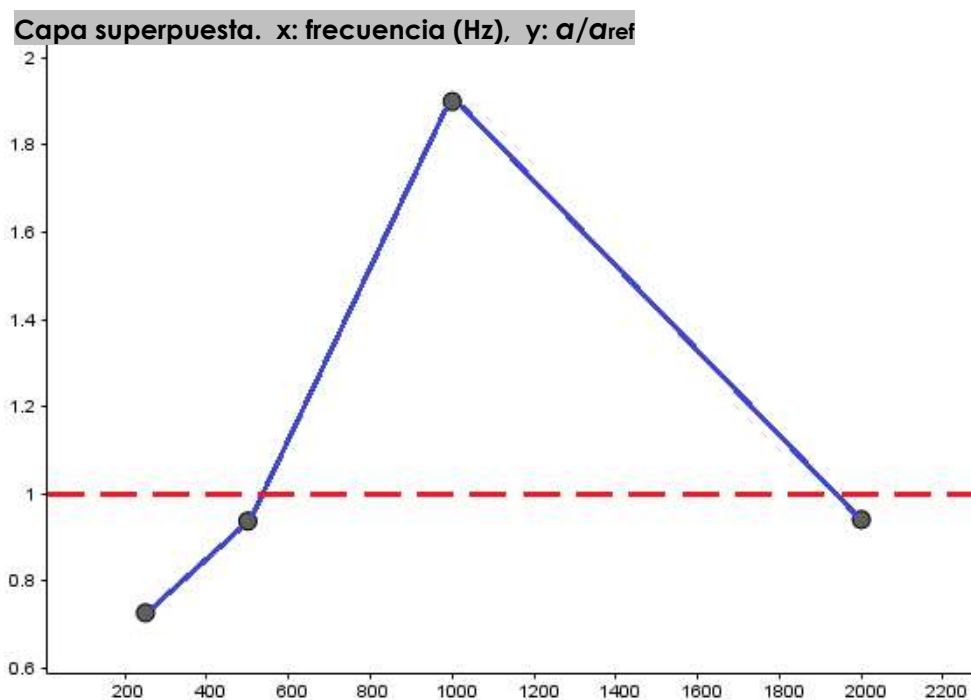
El análisis ofrece resultados interesantes y parece apuntar a la existencia de una cualidad que redime el mal comportamiento mecánico que infiere nuestro material de adición al producto, al menos en lo que a absorción acústica se refiere, siempre y cuando ésta sea la cualidad que se busque para elemento faricado, naturalmente. Podemos observar cómo la curva de regresión polinómica, una parábola invertida de grado 2, es similar en los tres casos. Sin embargo, se da el hecho de que en las parábolas de los diagramas de las probetas con adición presentan sensiblemente mayor estrechez y altura que la de referencia, destacando especialmente la correspondiente a la probeta con capa superpuesta (ver caracterización en punto 6.2.3.). Concretamente, son significativos los valores para la frecuencia de 1000 Hz, donde el coeficiente de la muestra con capa compactada es casi el 50% mayor que el de la muestra de referencia, mientras que el coeficiente de la muestra con capa superpuesta es casi el doble que el de la muestra de referencia en ese punto. Esto implica que para las probetas con adición y tratamiento superficial, los **valores**

extremos del coeficiente de absorción son inferiores, mientras que a medida que nos acercamos **al centro se vuelven significativamente mayores.**, lo cual se traduce en un aumento de la capacidad de absorción para las frecuencias alrededor de los 1000 Hz.

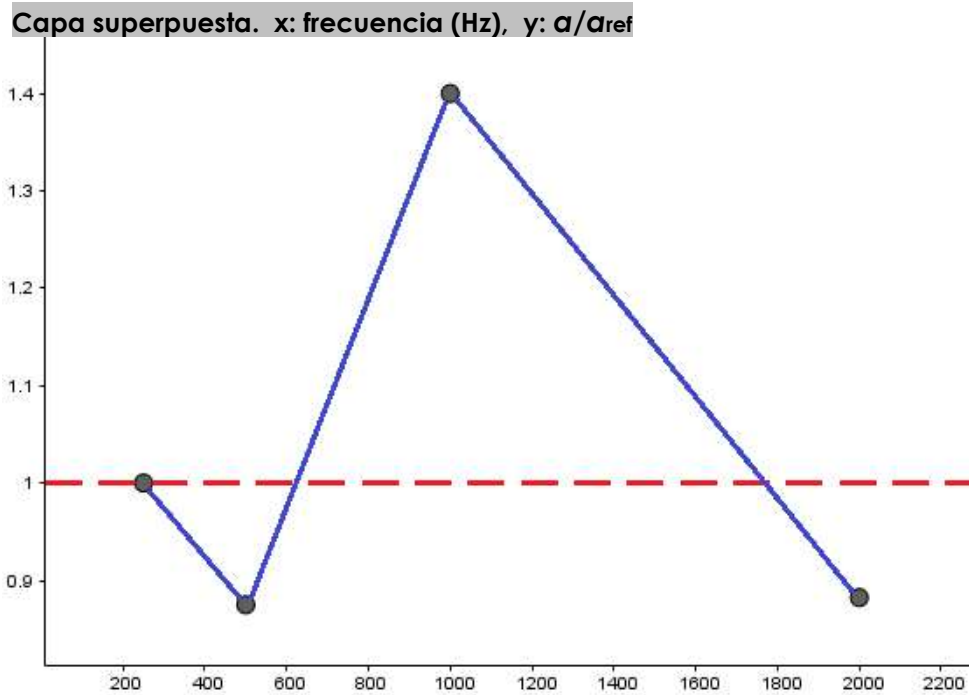
Con objeto de apreciar mejor este hecho, realizaremos otra experiencia analítica. Se calculará, para cada una de las probetas con adición y tratamiento superficial, el valor de cada uno de sus coeficientes de absorción dividido por el coeficiente de absorción correspondiente de la probeta de referencia (**α/α_{ref}**) y se procederá a representarlos gráficamente en función de la frecuencia. De este modo se podrá apreciar visualmente de manera inmediata las franjas de frecuencia para las que cada probeta con adición posee más capacidad de absorción acústica que la de referencia, que se corresponden con las zonas del diagrama donde **el valor de la ordenada sea mayor que 1**:

Probeta (tipo)	α / α_{ref} para 250 Hz	α / α_{ref} para 500 Hz	α / α_{ref} para 1000 Hz	α / α_{ref} para 2000 Hz
Capa Superpuesta	0.727	0.938	1.9	0.941
Capa Compactada	1	0.875	1.4	0.882

Tabla 33: coef. absorción probetas con adición / coef. abs. probeta referencia



Gráfica 33: probeta capa superpuesta, representación α/α_{ref} - frecuencia



Gráfica 34: probeta capa compactada, representación α/α_{ref} - frecuencia

En estos diagramas podemos apreciar la existencia de una amplia zona alrededor de los 1000 Hz donde el coeficiente de absorción de las probetas con adición es superior al de la probeta de referencia. De nuevo, podemos comprobar visualmente lo especialmente destacado del máximo que se da en los 1000 Hz. Para la muestra con capa compactada, este valor es cercano a 1.5 (el 50% mayor que la de referencia, como ya se mencionó antes), mientras que para la muestra con capa superpuesta, este valor es de casi 2 (es decir, el doble que la de referencia). Todo esto parece confirmar el aparente beneficio que aporta la adición de residuos de bayetas de microfibra al incremento de la capacidad de absorción acústica del producto final, destacándose especialmente su disposición según el diseño del acabado superficial de capa superpuesta.

Para finalizar este análisis de las propiedades de absorción acústica, vamos a resumir estas propiedades relativas a cada una de las probetas mediante el cálculo de un valor representativo que actúe como conclusión general de todo el análisis realizado. Este valor es el coeficiente llamado **NRC**. El NRC (Noise Reduction Criteria, o Noise Reduction Coefficient, según sus siglas en inglés) es una representación logarítmica del ritmo de disminución del sonido (en dB/seg) causada por la absorción de energía de un elemento constructivo con una área superficial definida, comparado al ritmo de disminución del sonido en una sala reverberante estandarizada que no posea dicho elemento. Un NRC de valor 0 (cero) indica que el elemento constructivo estudiado no participa en la atenuación sonora para el rango de frecuencias desde 250 Hz hasta 2000 Hz, mientras que un valor 1 implica una atenuación por unidad de superficie igual al de una sala reverberante que cumpla el estándar ASTM C423-17 [32]. Matemáticamente, consiste en la media aritmética, redondeado al múltiplo más cercano de 0.05, de los coeficientes de absorción del material para **las frecuencias centrales de las bandas de octava de 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz**, que son precisamente las frecuencias en que se centraron nuestros ensayos. El NRC se usa comúnmente para calificar las propiedades acústicas generales de paneles, falsos techos y demás elementos constructivos acústicos, e incluso también se usa ocasionalmente para clasificar revestimientos de suelos y materiales de construcción, de modo que puede resultarnos muy representativo habida cuenta de nuestro objetivo de diseñar un nuevo elemento

constructivo en base a un elemento preexistente. A continuación se muestra los resultados del cálculo del NRC para nuestras tres muestras, evidenciando de forma concluyente el incremento de las propiedades de absorción acústica que ejerce nuestra adición de trozos de bayetas de microfibra:

Probeta acústica (tipo)	NRC (Noise Reduction Criteria)
Referencia	0.16
Capa Superpuesta	0.193
Capa Compactada	0.17

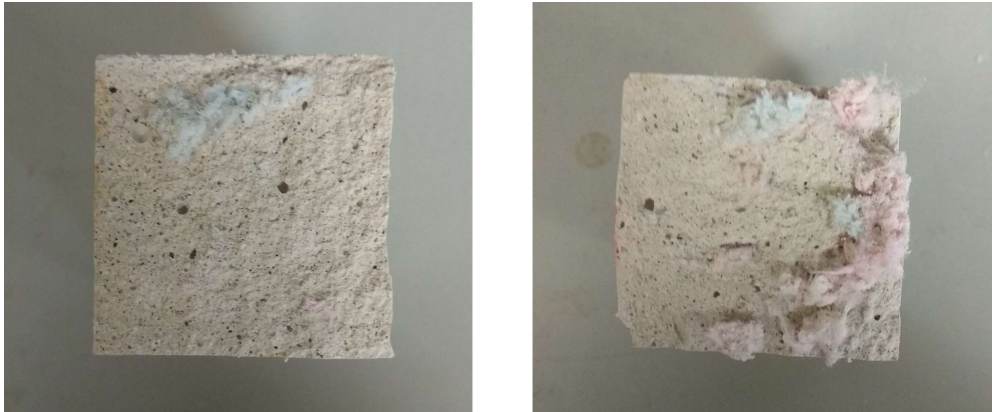
Tabla 33: valores de NRC de probetas acústicas

7.5. Conclusiones y elección del material para el producto propuesto.

Tras la finalización del proceso analítico y la evaluación exhaustiva y pomenorizada de todos los resultados, las conclusiones que se han alcanzado se pueden resumir en tres puntos esenciales, relativas cada uno de ellos a uno de los aspectos primordiales que han constituido, desde el principio, el objetivo intencionado de nuestro análisis. Nos referimos concretamente a estos tres aspectos: la fiabilidad del proceso de fabricación de las probetas y de los resultados obtenidos en los ensayos; la influencia del material de adición elegido, los trozos de bayeta de microfibra, en las propiedades físicas y mecánicas del producto final; y el efecto de dicho material de adición en las propiedades de absorción acústica de este producto. Estas conclusiones nos servirán finalmente como base para la selección de una de las dosificaciones estudiadas como componente esencial del nuevo elemento constructivo que se va a diseñar.

- La primera conclusión a la que se llega es que **los resultados obtenidos en los ensayos se consideran fiables**. Bien es cierto que se han detectado algunas anomalías, como por ejemplo las peculiaridades en los resultados de la muestra mecánica de referencia en su comportamiento a compresión, mas lo cierto es que ninguna ha resultado lo suficientemente significativa, especialmente contra la fuerza de las pruebas favor de su validez, como para desechar ninguno de los resultados de los ensayos. Es cierto que quizás sería deseable repetir algunos de los ensayos realizados, aunque sólo fuese para afianzar aún más nuestras conclusiones, pero tal posibilidad queda más allá de nuestro ámbito. En resumidas cuentas, las conclusiones de los respectivos análisis han estado lo suficientemente fundadas como para tomar los resultados como fiebles, de modo que no se ha descartado ninguno de ellos a la hora de calcular valores medios y emplearlos como criterio para juzgar la influencia de nuestro material de adición.
- La segunda conclusión, más que obvia, es que **la influencia de nuestro material de adición en el producto final puede categorizarse como no beneficiosa**, cuando no directamente pernicioso. La tendencia detectada al añadir un mayor porcentaje de dosificación de trozos de bayetas de microfibra es que se produce el aumento de la densidad aparente (masa) del material, al mismo tiempo que disminuye su capacidad de resistencia a esfuerzos tanto flectores como de compresión. Es decir, que a más material de adición de este tipo que añadamos a la mezcla inicial, obtendremos un producto final más pesado y más frágil, y los resultados de los análisis son incontestables a este respecto. De hecho, se ha teorizado otro perjuicio que nuestra adición puede ocasionar: dada la variabilidad detectada (dentro de una homogeneidad asumible) en algunos datos obtenidos para muestras

cuyas 6 probetas se fabricaron de una sola vez; y dado el pequeño porcentaje respecto al peso total de la probeta que la adición supone; parece ser que la distribución arbitraria de la cantidad de adición empleada en la masa total durante el amasado puede causar determinada aleatoriedad en las propiedades de los elementos fabricados con esa misma masa, obteniéndose algunos con mucho material de adición y otros con muy poco. Esta teoría está apoyada por una inspección visual de las probetas tras la rotura causada en los ensayos mecánicos:



Figuras 22 y 23: dos ejemplos diferentes de probetas rotas en los ensayos mecánicos, muestra PMYM/2.

Como puede apreciarse con claridad en las imágenes proporcionadas, en una misma muestra tenemos una probeta aparentemente con mucha cantidad de adición (derecha) y otra con escasa cantidad (izquierda). Bien es cierto que se ha confirmado la suficiente homogeneidad de datos en los análisis realizados, sin embargo, de acuerdo a esta teoría, si el objetivo fuese obtener productos lo más homogéneos posibles al emplear este material de adición, sería recomendable limitar la cantidad máxima de masa a emplear de una sola vez, habiéndose de realizar un estudio para determinar la cantidad adecuada para que el proceso sea eficiente. Por otra parte, en las imágenes puede percibirse otra peculiaridad en la distribución en la probeta del material de adición; vemos cómo éste se concentra en las partes más externas de la pieza, lo que parecería indicar que durante el fraguado los trozos de bayeta de microfibra se asientan y desplazan al fondo del molde; aunque ciertamente habría que realizar más ensayos con nuevas probetas para confirmar este extremo. En cualquier caso, el diagnóstico final sigue siendo el mismo: nuestro material de adición es perjudicial para las propiedades físico-mecánicas del producto final.

- La tercera y última conclusión alcanzada tras el proceso analítico es que **la influencia que el material de adición elegido ejerce sobre en el producto final puede considerarse generalmente positiva**, si el objetivo que se busca es el incremento de las capacidades de absorción acústica del elemento fabricado. Este efecto positivo sobre las propiedades acústicas del producto se deben principalmente, como ya se ha explicado con anterioridad, a la disposición del material de adición formando una capa externa con un acabado superficial determinado; sin embargo, no se puede descartar por sistema que la propia adición empleada en las probetas acústicas (2% de su masa total de yeso) también participen, aunque sea de una manera ínfima, en dicha mejora, aunque habría que realizar nuevos ensayos acústicos, con probetas con adición pero sin acabado, para corroborar dicha influencia. En cualquier caso, con la información de que disponemos, sólo podemos afirmar que la combinación de la adición de trozos de trapo de microfibra a la masa de yeso, sumada a la elaboración de un acabado superficial con ésta, aumenta la capacidad de absorción acústica del producto resultante.

Una vez consideradas estas conclusiones, así como toda la información que hemos ido acumulando a lo largo de la elaboración de este documento, es el momento de determinar el material elegido para emplear en el nuevo elemento constructivo a diseñar. Este material será el **yeso con 2% de adición de trozos de bayeta de microfibra con acabado superficial de capa superpuesta**. El criterio de selección de esta dosificación sobre otras se basa en la propia naturaleza del componente principal del producto, el yeso, y los propios usos y aplicaciones a los que éste va destinado. Para los principales elementos constructivos cuyo material principal es el yeso (paneles separadores, falsos techos, trasdosados, molduras, etc), las propiedades mecánicas son secundarias frente a otros aspectos como, por ejemplo, sus cualidades estéticas o su facilidad de montaje. Una dosificación del 2% de nuestra adición al yeso puede que cause una potencial disminución de sus resistencias mecánicas y un aumento en su masa, pero los requisitos mecánicos de los posibles productos a fabricar no son, para empezar, muy exigentes y, dependiendo del tipo de producto, el aumento de peso puede resultar insignificante. A su vez, si el producto tiene requisitos acústicos, como determinados paneles de falsos techos, nuestra adición puede estar potenciando sus capacidades a este respecto. En cualquier caso, el empleo de un mayor porcentaje de adición aumenta la capacidad del producto de constituir un medio para el reciclaje de un residuo plástico y los beneficios ecológicos que ello conlleva, lo cual fue una de nuestras intenciones primordiales a la hora de afrontar este trabajo.



Figura 24: probeta acústica PAYM/2-1, material elegido.

8. DISEÑO DEL PRODUCTO PROPUESTO.

En la presente sección de este documento se recopila toda la información pertinente al proceso de concepción, diseño y definición de un nuevo elemento constructivo elaborado principalmente con el material y la dosificación de residuo elegidos, como medio para ponerlos a prueba y juzgar el acierto de dicha elección. El proceso creativo se estructura en dos fases esenciales, las cuales consisten en, primero, la elección de un producto de referencia que nos sirva como base creativa, a la par que como futuro elemento comparativo en lo referente a las cualidades buscadas para ese tipo de elementos; y finalmente la definición misma del producto propio, para la cual se enumerarán de manera desarrollada sus características principales, centrándose con especial atención en el contraste y las divergencias con el elemento origen de su inspiración. Siendo el material elegido para esta experiencia el el yeso con 2% de adición de trozos de bayeta de microfibra, con acabado superficial de capa superpuesta en su caso (ver punto 7.5.), el tipo de producto elegido a desarrollar serán **placas de falso techo registrable**, donde las exigencias mecánicas son muy secundarias, y donde las propiedades acústicas que, se ha comprobado, aporta nuestro residuo podrían potenciar una de las características que sí son buscadas para este tipo de elemento.

8.1. Producto de referencia.

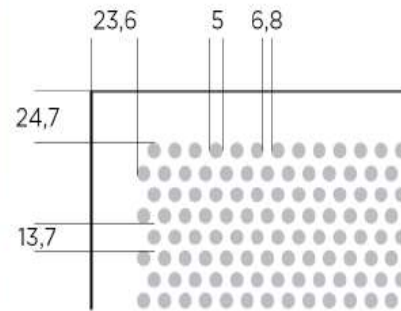
El producto de referencia finalmente seleccionado consiste en las placas **Gyptone Registrable Point 8-A**, de *Placo Saint-Gobain*. Se trata de un tipo de placa fonoabsorbente para falso techo desmontable, fabricada con una placa de yeso laminado como base, con perforaciones mediante un proceso de punzonado y la tecnología llamada Activ'Air(reg.) realizadas en su fabricación. El criterio de elección ha sido puramente pragmático, motivado esencialmente por las propiedades y características concretas de este producto, las cuales resultan ciertamente propicias para un producto elaborado con nuestro material de estudio elegido, habida cuenta de sus ya explicadas particularidades.



Figura 22: nombre y muestra de producto, y logo de Placo.
(ficha de producto Gyrtone® Registrable Point 80-A, Placo Saint-Gobain)

DATOS TÉCNICOS:

- **Espesor nominal:** 8 mm
- **Dimensiones nominales:** 600 x 600 mm
- **Tipo de borde:** A
- **Tipo de perforaciones:** Circulares
- **Dimensiones perforaciones:** 5 mm
- **Perforaciones:** 19 %
- **Peso:** 5,3 kg/m²
- **Reacción al fuego:** A2-s1, d0
- **Color del velo de tisú:** Blanco
- **Reflexión a la luz:** 70% con pintura estándar blanca.



- **Tipo de borde**

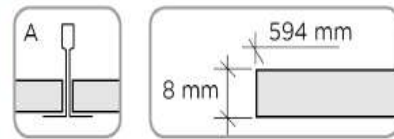


Tabla 34: datos técnicos, Gyptone R. Point 8-A.

Figura 23: datos gráficos, Gyptone R. Point 8-A.
(ficha de producto Gyrtone® Registrable Point 80-A. Placo Saint-Gobain)

En la relación de los datos técnicos del producto pueden comenzar a apreciarse los motivos por los que la elección de este producto concreto resulta tan oportuna. El primer punto a favor es que resulta ser un elemento extremadamente ligero, con lo cual el aumento de densidad (masa) que ejerza nuestro material de adición en la pieza no será realmente significativo. Con una masa de 5,3 Kg/m² y unas dimensiones efectivas de 600 x 600 x 8 mm, la masa por unidad de este producto será la siguiente:

- $5.3 \times 0.6 \times 0.6 = 1.87 \text{ Kg/pieza}$

Por su parte, el valor de su densidad, el cual veremos necesario para la labor comparativa del siguiente punto, será el siguiente:

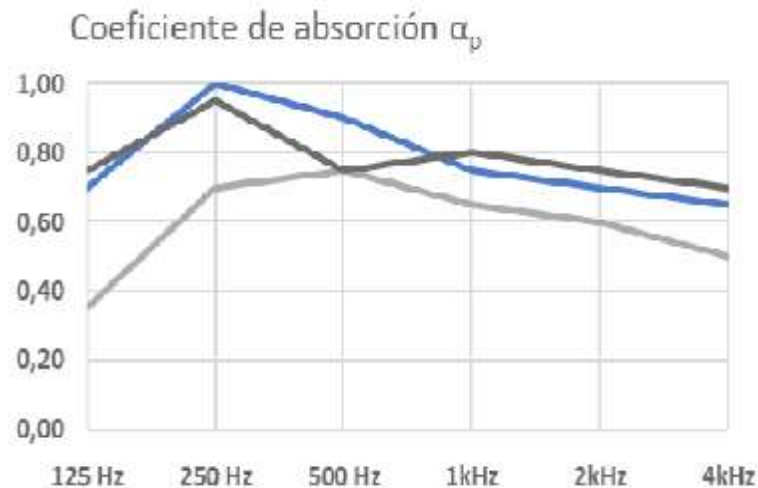
- $5.3 / 0.008 = 662.49 \text{ Kg/m}^3$

En lo referente a sus dimensiones, se trata de un elemento muy manejable y fácil, por tanto, de montar y manipular. Dadas sus dimensiones efectivas ancho/largo de 600 x 600 mm, su superficie efectiva es la siguiente:

- $0.6 \times 0.6 = 0.36 \text{ m}^2$

Otra ejemplo esencial de las ventajas de este producto son sus presumiblemente escasas exigencias mecánicas. Las propiedades respecto a la resistencia a flexión, compresión u otros esfuerzos no están definidas en su ficha técnica, y Placo no las proporciona expresamente en ninguno de sus documentos, con lo que se puede deducir que las exigencias del producto a este respecto no son significativas para el uso al que está destinado, reduciéndose probablemente a determinados baremos estandarizados de peso propio y no mucho más. Esto resulta ciertamente adecuado para nuestra materia prima estudiada, cuya dosificación de residuo, como se ha visto en los análisis anteriores, tiene la posibilidad de causar cierto perjuicio a las propiedades mecánicas del producto fabricado con éste.

De modo que no sólo nos encontramos ante un producto simple, sencillo y elegante, sino que además resulta manejable y relativamente liviano. El hecho de que posea un 19% de perforaciones, de diámetro 5 mm, no solo favorece al aligerado de la pieza, sino que además aumenta sustancialmente sus propiedades acústicas referentes a la absorción, lo cual es una de las características principales que se buscan para este tipo de elementos constructivos. Estas propiedades acústicas de absorción quedan perfectamente reflejadas en la información provista por la ficha técnica del producto, la cual reproducimos a continuación:



Gráfica 35: representación coef. absorción, Gyptone R. Point 8-A.
(ficha de producto Gyrtone® Registrable Point 80-A, Placo Saint-Gobain)

	Plenum	Lana mineral	Frecuencias						α_w
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	
	200 mm	-	0,35	0,70	0,75	0,65	0,60	0,50	0,65
	200 mm	50 mm	0,70	1,00	0,90	0,75	0,70	0,65	0,75
	400 mm	50 mm	0,75	0,95	0,75	0,80	0,75	0,70	0,80

Tabla 35: relación coef. absorción, Gyptone R. Point 8-A.
(ficha de producto Gyrtone® Registrable Point 80-A, Placo Saint-Gobain)

Podemos observar con meridiana claridad las excelentes cualidades en cuanto a absorción acústica se refiere (siempre que sea tal cosa la buscada, naturalmente) que ofrece este producto. Incluso si nos remitimos exclusivamente a la fila donde se refleja su aplicación exenta de lana mineral (línea gris en la gráfica), los valores de absorción son excepcionales. De hecho, son significativamente superiores en magnitud a los datos que obtuvimos para nuestro yeso dosificado al 2% con trozos de trapos de microfibras en los ensayos; en su punto máximo a los 1000 Hz, nuestro coeficiente de absorción de 0.38 no puede competir con el coeficiente de 0.65 de este producto, sin necesidad de lana mineral siquiera. Sin embargo, respecto a estas comparaciones, hay que tener en cuenta unos factores:

- El ensayo acústico no se hizo en las mismas condiciones. Si bien es cierto que la superioridad del producto de Placo seleccionado es incuestionablemente superior a nuestro yeso con microfibras, lo cierto es que habría que realizar nuevos ensayos para ambos en igualdad de condiciones. El ensayo de tubo de impedancia da resultados relativos, dependientes de las condiciones concretas de como se realizan, de modo que habría que testear muestras de ambos productos en el mismo tubo y bajo las mismas condiciones para obtener la verdadera magnitud de esta diferencia.

- No es exactamente el mismo material base. Aquí estamos comparando una probeta de yeso (con determinada adición, de acuerdo) con un panel de yeso laminado, lo que implica la existencia de determinado material (papel, cartón) formando capas con el yeso. La idea principal es basarse en este producto para crear el nuestro, de manera que la opción más probable es elaborar paneles de yeso laminado con nuestra mezcla con adición; si ese fuera el caso, los resultados del ensayo acústico probablemente no serían los mismos.
- No tienen el mismo acabado. Esta es la diferencia principal entre ambos; lo que más influye en las propiedades acústicas del producto de placo es obviamente su agujereado, del cual nosotros carecemos. Si nuestro producto hereda este agujereado además de aportarle sus especiales características gracias al aditivo, sería incluso probable que aumentase (si bien quizás sólo ligeramente) su capacidad de absorción acústica.

Habida cuenta de lo anterior, no puede descartarse que si se emulan las suficientes características formales del producto de referencia, las propiedades acústicas finales de nuestro producto propuesto resulten, cuando menos, igual de excelentes que las de el primero, si no, con un poco de suerte, mejores dada las particularidades de la adición de trozos de trapos de microfibra que hemos analizado y definido con anterioridad.

Respecto al resto de ventajas del producto definidas en la ficha técnica proporcionada por el fabricante, como lo son su capacidad de elimina los COVs (familia aldehídos) del aire mediante la tecnología Activ' Air; su facilidad y rapidez en la instalación; su remate mediante velo de tisú fonoabsorbente en el reverso especialemete efectivo contra las altas frecuencias; y su pintado en color blanco de fábrica; dichas ventajas son independientes del tipo de yeso empleado en el panel de yeso laminado que sirve como base del producto. Por ello, a la hora de diseñar nuestro producto propuesto, simplemente se tratará de emular todas estas propiedades mediante la asimilación de las características formales y los añadidos posteriores del producto de referencia.

Otro aspecto importante a determinar es el ámbito en el que este producto suele ser empleado, puesto que, al ser la referencia de nuestro futuro producto propuesto, su campo de aplicación resulta un factor clave a la hora de decidir el proyecto en el que realizar la simulación del caso práctico de su uso. Según la ficha técnica provista por el fabricante, el campo de aplicación de este producto es la instalación de falsos techos practicables, acústicamente absorbentes y estéticos en centros comerciales, hoteles, oficinas, auditorios, edificios de pública concurrencia, centros docentes, hospitales, restaurantes, museos, etc., así como en salones de actos, salas de reuniones, salas de conferencias o exposiciones y otros locales donde se requiera una determinada corrección acústica y disminución del tiempo de reverberación. Esta información habrá de ser tenida en cuenta a la hora de afrontar el desarrollo del punto siguiente de este documento.



Figura 24: ejemplo del producto en uso en oficinas.
(catálogo techos, Placo Saint-Gobain)

Finalmente, no puede dejarse de lado la importancia del aspecto económico. Un factor fundamental en lo referente a la construcción independientemente del tipo de experiencia que estemos realizando, la economía puede ser aquí incluso la gran baza que favorezca a nuestro producto en su comparativa con el que es su referencia, pudiendo incluso hacerlo atractivo por sí mismo en un hipotético escenario de intención real de introducción en el mercado. A continuación se muestra la lista de precios según la publica el fabricante; la columna marcada en rojo señala dónde se refleja nuestro producto de referencia, donde se indica que el precio unitario asciende a **15.50 euros** y el método de distribución son palés de 16 cajas, con 10 unidades por caja:

GYPTONE® REGISTRABLE - GYPTONE® REMOVÍVEL										
Artículo Artigo	Código Código	Borde Bordo	Medidas mm Medidas mm	Peso kg/m2 Peso kg/m2	Ud fact. Un. fatur.	€/Ud. €/Un.	Grupo fact. Grupo fatur.	Min. venta Min. fatur.	A	
Line Tipo 4	8435360202573	GYH40460600D2	D2	600 x 600 x 12,5	7,9	m ²	25,09	G44	Palet Paleta	Pal Palet
Point tipo 11	8435360202580 (PLA)	GYH41110600AC	A	600 x 600 x 10	7,6	m ²	17,30	G44	Palet Paleta	Pal Palet
Point tipo 11	8435360202597(PLA)	GYH41150600AC	E-15	600 x 600 x 10	7,6	m ²	18,51	G44	Palet Paleta	Pal Palet
Point tipo 11	8435360202603	GYH41320600D2	D2	600 x 600 x 12,5	8,4	m ²	25,09	G44	Palet Paleta	Pal Palet
Point 80	8435360215337	GYH41080600AC	A	600 x 600 x 8	5,3	m ²	15,50	G44	Palet Paleta	Pal Palet
Quattro Tipo 20	8435360202641 (PLA)	GYH42010600AC	A	600 x 600 x 10	7,2	m ²	17,30	G44	Palet Paleta	Pal Palet
Quattro Tipo 20	8435360202658 (PLA)	GYH42050600AC	E-15	600 x 600 x 10	6,8	m ²	18,51	G44	Palet Paleta	Pal Palet
Quattro Tipo 20	8435360202665	GYH42060600D2	D2	600 x 600 x 12,5	7,9	m ²	25,09	G44	Palet Paleta	Pal Palet
Quattro Tipo 22	8435360210431 (PLA)	GYH42210600AC	A	600 x 600 x 10	7,9	m ²	17,30	G44	Palet Paleta	Pal Palet
Quattro Tipo 22	8435360202689 (PLA)	GYH42250600AC	E-15	600 x 600 x 10	7,8	m ²	18,51	G44	Palet Paleta	Pal Palet
Quattro Tipo 22	8435360202665	GYH42060600D2	D2	600 x 600 x 12,5	8,7	m ²	26,35	G44	Palet Paleta	Pal Palet
Quattro Tipo 50	8435360202702 (PLA)	GYH45020600AC	A	600 x 600 x 10	7,2	m ²	17,30	G44	Palet Paleta	Pal Palet

Tabla 36: relación precios productos, Gyptone R. Point 8-A marcado.
(Glosario precios de mayo 2019, Placo Saint-Gobain)

8.2. Definición del producto propuesto.

En el siguiente apartado se procederá, por fin, al diseño y la definición del nuevo elemento constructivo propuesto, empleando el material con dosificación de residuo elegido, e inspirándose en el producto de referencia definido, a su vez, en el punto anterior. Hemos de recordar que dicho producto de referencia está elaborado por un fabricante con amplio reconocimiento y años de experiencia; y que es fruto de un proceso de diseño, investigación y desarrollo extremadamente afinado y con numeroso personal técnico involucrado. Dada nuestra imposibilidad de competir directamente en ese ámbito, así como nuestra falta de medios instrumentales y humanos para comprobar empíricamente las propiedades de cualquier producción original que pudiéremos concebir, nuestro principal criterio de diseño para definir nuestra propuesta de elemento constructivo en pro de intentar heredar todas las cualidades positivas que ofrece el producto de referencia, consiste en emular dichas cualidades mediante la asimilación en lo posible de las características formales y los añadidos y tratamientos post-fabricación de dicho producto.

La definición del producto se estructurará en tres secciones, correspondientes a los tres aspectos esenciales en que se desarrollará la caracterización de nuestro elemento constructivo. Estas tres secciones son: la definición técnica, donde se proporcionarán las cifras y valores relativos a las características del producto; la definición gráfica, donde se reflejará la caracterización visual del elemento mediante dibujos y esquemas; y la rentabilidad, punto donde se tratará del impacto de nuestro producto tanto en términos económicos como energéticos y ecológicos. El nombre propuesto para nuestro producto, el cual se usará a partir de ahora en toda referencia a éste, es **2nd-baizlife** (fonéticamente: "Seconbaislaif") que, en inglés viene a significar "segunda vida de bayeta".

8.2.1. Definición técnica.

En esta sección se procederá a definir todos los datos y valores relativos a las diferentes características físicas y técnicas de **2nd-baizlife**. Estos datos se obtendrán principalmente basándonos en los datos correspondientes al producto de referencia y en la relación entre éstos y los datos obtenidos por nuestras probetas mecánicas de

referencia, asumiendo la existencia de proporcionalidad en dicha relación. Esto es debido a que, como ya se vio con anterioridad, el material que compone el producto de referencia (placa de yeso laminado) no es el mismo que el de nuestras probetas de referencia (sólo yeso); de este modo, habida cuenta de que nuestra intención es meramente sustituir el yeso preexistente en el producto de referencia por el porcentaje correspondiente de dosificación de nuestro material de adición, determinaremos la proporcionalidad que existe entre las densidades del producto de referencia y nuestro yeso blanco de referencia y aplicaremos dicha proporcionalidad al yeso con 2% de adición elegido.

Para determinar la **densidad** de *2nd-baizlife*, tenemos en primer lugar que determinar, como se ha explicado previamente, la relación entre la densidad del producto de referencia y la de nuestra muestra de probetas mecánicas de referencia. Una vez calculado ese coeficiente, se multiplica por la densidad de nuestra muestra de 2% de adición para averiguar la densidad que le correspondería a *2nd-baizlife* en esas mismas condiciones:

- Densidad de producto de referencia (Gyrtone R. P. 80-A) = 662.49 Kg/m^3
- Densidad de probetas de referencia = $1.253 \text{ g/cm}^3 = 1253 \text{ kg/m}^3$
- Coeficiente densidad = $662.49 / 1253 = 0.53$
- Densidad de probetas 2% adición (PMYM/2) = $1.272 \text{ g/cm}^3 = 1272 \text{ kg/m}^3$
- Densidad de *2nd-baizlife* = $1272 \times 0.53 = \mathbf{674.16 \text{ Kg/m}^3}$

Una vez determinada la densidad, resulta sencillo determinar la masa por unidad de superficie (Kg/m^2) de *2nd-baizlife*, que es la unidad útil que se proporciona en la ficha técnica de estos productos en el mercado. Teniendo en cuenta que asumimos la misma geometría del producto de referencia para nuestro *2nd-baizlife*, sólo es necesario multiplicar el grosor de la pieza por la densidad:

- Grosor de placa = $8 \text{ mm} = 0.008 \text{ m}$
- Masa por ud. superficie de *2nd-baizlife* = $674.16 \times 0.008 = \mathbf{5.39 \text{ Kg/m}^2}$

De igual manera se puede hallar con sencillez la masa por pieza de nuestro *2nd-baizlife*; basta con multiplicar la masa/ud. superficie por las dimensiones efectivas de la placa, que se asumen idénticas a las del producto de referencia:

- Área efectiva de placa = $594 \times 594 = 352836 \text{ mm}^2 = 0.353 \text{ m}^2$
- Masa por pieza de *2nd-baizlife* = $5.39 \times 0.353 = \mathbf{1.9 \text{ Kg/pieza}}$

Respecto a las propiedades acústicas de *2nd-baizlife*, teniendo en consideración los resultados de los ensayos acústicos realizados a la muestra elegida para esta experiencia, y ante la imposibilidad de realizar más ensayos al respecto, simplemente asumiremos que la capacidad de absorción de *2nd-baizlife* es cuando menos idéntica a la del producto de referencia; podría ser mayor, pero nos pondremos del lado de la seguridad. Debido a ello, el valor del NRC (Noise Reduction Coefficient) de nuestro *2nd-baizlife*, asumiendo la no aplicación de lana mineral, sería el siguiente:

- NRC de *2nd-baizlife* = **0.70**

Por último, determinaremos unos valores que nos resultarán útiles durante el apartado referente a la rentabilidad del nuevo producto. Habida cuenta de que el yeso empleado para *2nd-baizlife* posee una adición de trozos de bayeta de microfibras del 2% de su peso total de yeso, nos disponemos a calcular cuánto pesa

la parte de yeso y la parte de trozos de bayeta por cada pieza:

- Masa de yeso por pieza de *2nd-baizlife* = $1.9 \times 0.98 = \mathbf{1.86 \text{ Kg yeso/pieza}}$
- Masa de adición por pieza de *2nd-baizlife* = $1.9 \times 0.02 = \mathbf{0.04 \text{ Kg adic./pieza}}$

Como conclusión del apartado de definición técnica de nuestro producto *2nd-baizlife*, realizar una comparación de los datos obtenidos con los correspondientes al producto de referencia. Para *2nd-baizlife* hemos determinado una masa por unidad de **1.9 Kg**, lo cual es sólo ligeramente superior a la masa por unidad de los **1.87 Kg** de la referencia, una diferencia de sólo 30 gramos en total, lo cuál no perjudica sensiblemente sus características de manejabilidad y facilidad de montaje. Es más, cabe recordar que, dada la adición de trozos de bayeta de microfibra en nuestro *2nd-baizlife*, su peso de yeso puro es de **1.86 Kg**, de modo que en definitiva nos estamos ahorrando 10 gr de yeso por pieza. Este último dato será de interés durante el apartado referente a la rentabilidad del producto, donde se desarrollarán todas las implicaciones a este respecto.

8.2.2. Definición gráfica.

En lo referente a la determinación de las dimensiones, el diseño formal y el patrón de las perforaciones, se decide emular lo establecido por el producto de referencia a este respecto. Como ya se mentó anteriormente, dadas nuestras limitaciones para aseverar la validez de nuevos diseños en comparación a lo ya preexistente y funcional, se elige la opción más conservadora, es decir, emplear el mismo diseño formal que la referencia. De esta manera, podrá mantenerse además todo el protocolo habitual de montaje y emplear la misma perfilera *Quicklock* y los accesorios de cuelgue a los que está adaptado este modelo.

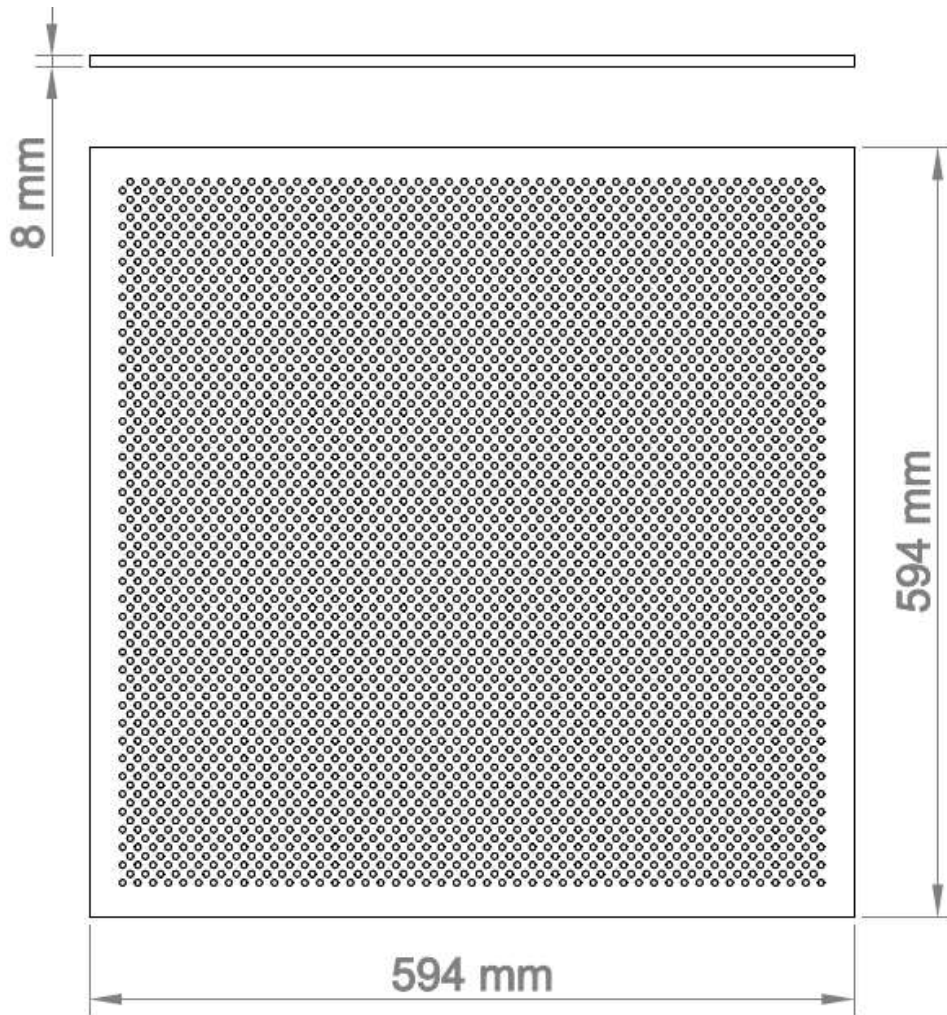


Figura 25: placa de 2nd-baizlife, vista superior acotada.

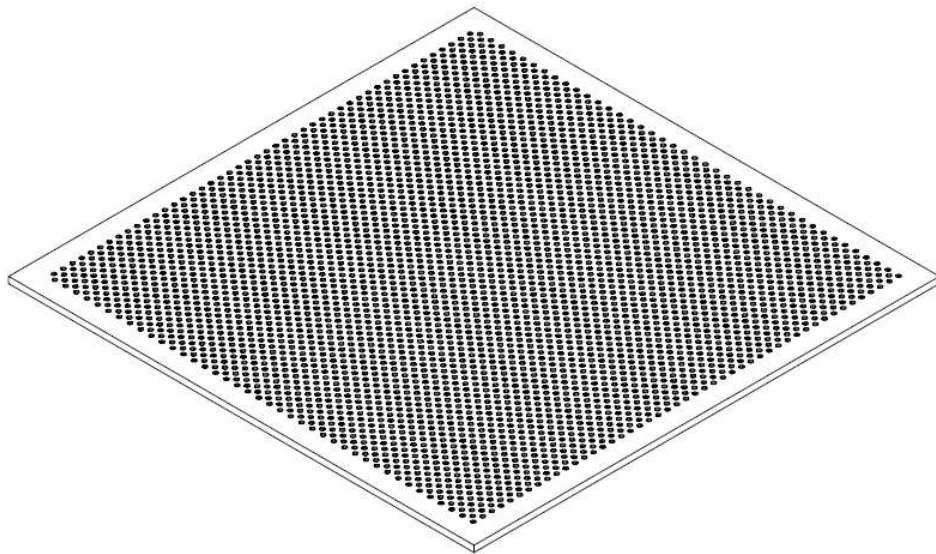


Figura 26: placa de 2nd-baizlife, vista isométrica.

- *Hipótesis de diseño.*

Si bien nuestra decisión en cuanto a la composición formal ha sido elegir una aproximación conservadora y respetar del todo el diseño inicial del producto de referencia, planteamos aquí una hipótesis de diseño no testada para nuestro producto 2nd-baizlife que, aunque no vaya más allá del plano teórico, puede servir para reflexionar y como fuente de inspiración para futuras experiencias. Este diseño consiste en aplicar el concepto de capa superpuesta de trozos de bayeta de microfibra que se concibió para la probeta acústica PAYM/2-1 en la parte superior (la que no es visible) de toda la placa. El planteamiento de esta hipótesis consiste en que, habida cuenta del efecto positivo que dicho diseño tuvo en la capacidad de absorción acústica de la muestra que la portaba sobre la muestra de referencia, el empleo del residuo de microfibra dispuesto de esta manera aumentaría aún más las propiedades acústicas de la pieza, ya de por sí excelentes. No sólo eso: al emplearse mucha más cantidad de residuo de microfibra en la elaboración que el mero 2% de su peso total de yeso (40 g por placa, recordemos), nuestro elemento propuesto mejoraría bastante en su capacidad de constituir un medio de reciclaje de perniciosos residuos plásticos.

Obviamente no se posee el criterio suficiente para determinar cuál sería la mejor manera de proceder para aplicar dicha capa superficial; ni si ésta sería compatible con el velo de tisú que ya remata esa cara de la pieza en el diseño original. Podría ocurrir incluso que, por alguna razón, este diseño empeorara las capacidades acústicas de la placa en vez de mejorarla; serían necesarias numerosas pruebas y ensayos para poder obtener una respuesta ante tales incertidumbres. Es por ello que el diseño aquí planteado no va más allá del plano meramente hipotético.

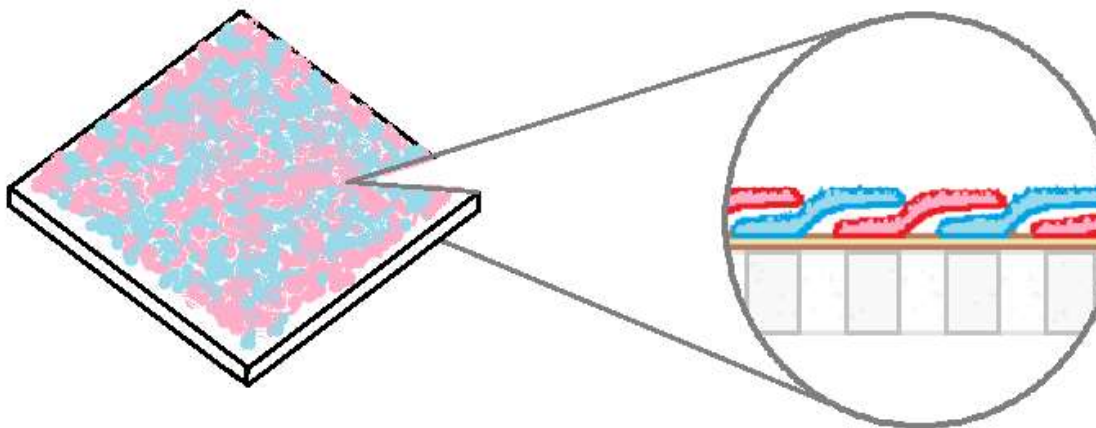


Figura 27: hipótesis de diseño, placa con capa de microfibra superpuesta.

8.2.3. Rentabilidad.

Para finalizar, en este apartado nos disponemos a definir un aspecto que puede acabar resultando el más relevante para nuestro *2nd-baizlife*, en cuanto a que sea en dicho aspecto donde el producto ofrezca una ventaja concreta que lo haga atractivo en una hipotética situación de conato de introducción del producto en el mercado. La dimensión económica está estrechamente vinculada al mundo de la construcción en todas sus vertientes, pero cuando hablamos de cosas como rentabilidad o coste no sólo estamos hablando del aspecto puramente pecuniario, sino también, y cada vez con más relevancia, del aspecto energético, o incluso del aspecto ecológico y ambiental, cada uno de ellos con su problemática e implicaciones particulares. Es por ello que esta sección se dividirá en tres apartados, cada uno de ellos centrado en una de estas tres facetas relativas a la rentabilidad del producto propuesto.

Coste económico

Este es el agente más obvio e inmediato, incluso podríamos decir "visceral", que existe en cuanto al aspecto de la rentabilidad se refiere. El factor económico es quizá uno de los motores principales y esenciales del mundo de la construcción, y tal extremo se hace notar en cada una de las fases y estadios de todo el proceso constructivo. El dinero manda, y puede garantizar la pervivencia de un producto con mucha más eficacia que otros valores aparentemente superiores como la estética o, incluso, la cultura. En lo que se refiere a nuestro *2nd-baizlife*, procederemos a definir sus características económicas para comprobar, mediante una comparativa con el producto de referencia como primer paso, si nuestro producto propuesto puede de alguna manera considerarse competitivo. El procedimiento concreto para hacerlo consistirá en dos partes: en primer lugar, se determinará el precio básico del yeso empleado en la fabricación de una pieza de *2nd-baizlife* y una del producto de referencia, en pro de determinar qué inversión supone para el fabricante; en segundo lugar, asumiendo que existe proporcionalidad entre el coste básico del yeso empleado y el beneficio obtenido por la venta del producto acabado en el mercado, calculamos el coeficiente que relaciona dicho precio de mercado con el coste del yeso y se lo multiplicamos al coste del yeso empleado para producir una pieza de *2nd-baizlife*. De esta manera podremos determinar los **costes proporcionalmente justos** correspondientes a una pieza de nuestro producto propuesto y, a su vez, establecer una comparativa con los de su referencia para así poder caracterizarlo en cuanto a su rentabilidad.

***Nota:** para este cálculo, ante la ausencia de información referente a la densidad aparente del producto de referencia, se asume que todo el volumen de dicho producto está compuesto por yeso. Sabemos que eso no es cierto (es panel de yeso laminado), de modo que las cifras obtenidas serán superiores a las reales. En cualquier caso, los resultados sí serán proporcionales.

Calculamos en primer lugar el coste del yeso para el fabricante:

- Precio básico del yeso = $78,89 \text{ €/m}^3$ (Pasta de yeso de construcción B1, según UNE-EN 13279-1. CYPE Ingenieros, S.A.)
- Volumen yeso producto ref. = masa yeso / densidad = $1,87 / 662,49 = 0,0028 \text{ m}^3$
- **Coste yeso/ud. producto ref. = $78,89 \times 0,0028 = 0,223 \text{ €/pieza}$**
- Volumen yeso *2nd-baizlife* = masa yeso / densidad = $1,86 / 674,16 = 0,0027 \text{ m}^3$
- **Coste yeso/ud. *2nd-baizlife* = $78,89 \times 0,0027 = 0,213 \text{ €/pieza}$**

Calculamos ahora el precio de una placa en el mercado:

- **Precio/ud. producto ref = 15.50 €** (Glosario precios de mayo 2019, Placo Saint-Gobain)
- Coeficiente precio = Precio ud./coste yeso = $15.50 / 0.223 = 69.5$
- **Precio/ud. 2nd-baizlife = coste yeso x coef. precio = $0.213 \times 69.5 = 14.80$ €/pieza**

En resumidas cuentas, tenemos que, para nuestro *2nd-baizlife*, el coste del yeso para fabricar una unidad sería de 0.21 € y su precio de mercado en proporción 14.80 €, mientras que para el producto de referencia el coste en yeso por unidad asciende a 0.22 € y su precio de venta 15.50 €. Esto significa que el uso de nuestro producto propuesto supone un ahorro de **1 céntimo de €** por pieza fabricada y una reducción de su precio de venta por unidad de **70 céntimos de €**. Considerándolas de este modo, por unidad, el beneficio parece irrisorio, incluso podría pensarse que despreciable; será en la sección donde se describa la simulación del uso de nuestro *2nd-baizlife* en un caso para determinar el alcance de estas cifras con una mayor perspectiva.

Coste energético

El consumo energético es también un factor esencial a la hora de categorizar la rentabilidad de cualquier proceso en el ámbito de la construcción. Este factor tiene, además, la característica de actuar de nexo vinculante entre los otros dos aspectos que comprende el concepto de rentabilidad: el coste económico y el coste ecológico. A mayor consumo energético, mayor inversión económica se requiere, y más perjuicio medioambiental, manifestado de innumerables y muy diferentes formas, se causa. Y el sector de la construcción es precisamente uno de los agentes principales de este consumo. De hecho, estadísticamente, este sector resulta ser el responsable del empleo de la friolera del 50% de los recursos naturales, del 40% de la energía consumida (incluyendo la energía en uso) y, dicho sea de paso, del 50% del total de los residuos generados [33].

En lo que respecta a nuestro producto propuesto *2nd-baizlife*, el cuantificar su influencia en cuanto a consumo energético se refiere, y compararla con la del producto de referencia, nos ayudará a definir de una manera más amplia y precisa el carácter de su rentabilidad como producto. Habida cuenta de que, para nuestro tipo de elemento constructivo, el coste energético relativo a aspectos complementarios como el montaje o el transporte no son ni especialmente reseñables por sí mismos, ni diferentes entre un modelo y otro, nos centraremos en el coste energético de la producción del yeso necesario para su elaboración. El procedimiento a seguir consistirá en calcular el valor la energía necesaria (J) para obtener el yeso usado en cada uno de los dos productos, *2nd-baizlife* y la referencia, procediendo posteriormente a su comparativa. Para ello, nos remitiremos a los datos proporcionados por la siguiente tabla:

Construcciones de Bajo Impacto Ambiental

Valor promedio de Consumos de Energía de los materiales en la construcción

Material de construcción	CO2 producido (g/Kg.)	Energía Consumida (MJ/Kg.)
Adobe en Tierra Cruda	5	0,1
Piedra Partida	21	0,3
Bloque de Cemento	125	0,52
Cemento	181	1,4
Revoques Interiores y Exteriores	195	1,5
Hormigón Armado	107,6	1,6
Mortero de Cemento	221	1,6
Yeso	220	2,4
Ladrillo Cerámico Común	225	2,7
Teja Cerámica	350	3,5
Tirante de Madera	281	4,7
Placas de Roca de Yeso	410	5,3

Tabla 37: Tablas de medición del impacto ambiental.
(Arq. Carlos Alberto Fuentes Pérez. M.E.S. 2010.)

De acuerdo a esta fuente, el coste energético derivado de la obtención de yeso para elaborar una unidad de cada uno de los productos en cuestión, calculado mediante el producto del valor de la energía consumida para el yeso (MJ/Kg) por la masa de yeso empleada en cada caso, sería el siguiente:

- **Coste energético/ud. producto ref = $2.4 \times 1.87 = 4.49$ MJ/pieza**
- **Coste energético/ud. 2nd-baizlife = $2.4 \times 1.86 = 4.46$ MJ/pieza**

Es decir, que entre la fabricación de una placa de 2nd-baizlife y una del producto de referencia existe una diferencia de **30 KJ** en el gasto energético; un ahorro a favor de nuestro producto propuesto. Resulta interesante señalar que si se hubiese tratado de un mortero de cemento en lugar que yeso (y considerando las mismas cifras de densidad y peso, claro está), el ahorro habría sido ligeramente inferior según los datos de la fuente consultada; si bien ésta es sólo una pequeña reflexión circunstancial sin mayores implicaciones para la valoración final. De nuevo, para valorar el verdadero impacto de estas cifras de una manera más amplia hay que esperar a los resultados de la simulación del caso práctico.

Coste ecológico

He aquí el último punto en la caracterización de la rentabilidad del producto analizado. Un punto que ha cobrado, afortunadamente, una ingente importancia en los últimos tiempos, combirtiéndose progresivamente en uno de los condicionantes más relevantes en cuanto su impacto social en lo referente a innumerables aspectos de la actividad y la vida humana, entre los que se halla como representante significativo el sector de la construcción. De hecho, siendo ésta una de las actividades con mayor impacto medioambiental, es en la etapa de producción donde se produce la mayoría de dicho impacto, generándose el 76% del impacto relativo al calentamiento global, el 89% del empleo de energía no renovable como materia prima, el 64% del uso total de energía no renovable y el 71% del consumo de agua dulce [34].

Por todo lo anterior, el propósito es centrar nuestro interés en los efectos concretos que acontecen en esta etapa de producción, con el objetivo de determinar el coste ecológico de nuestro *2nd-baizlife* en su continúa comparativa con el producto que sirvió como su referencia. El principal componente de ambos productos, el yeso, en su estado natural se encuentra en forma de sulfato de calcio dihidratado. En el proceso de calcinación para perder parte de esa agua y convertirse en yeso hemihidratado, que es el mayormente empleado en construcción, ha de someterse a temperaturas de entre 90 a 130 ° C [35], y es un hecho conocido por todos que la combustión viene inexorablemente acompañada de la contaminación. De hecho, la importancia concreta de esta circunstancia viene refrendada por la existencia de acuerdos nacionales entre determinados gobiernos de los Estados miembros de la Unión Europea y las industrias del cemento, de la cal y del yeso, con el fin de reducir el consumo energético y las emisiones del CO₂ [36]. Esa contaminación producida durante la obtención del yeso es precisamente la que pretendemos cuantificar, y lo haremos empleando los datos anteriormente proporcionados por la **tabla 37**, donde se especifican los gramos de CO₂ emitidos por cada Kg producido de yeso:

- **CO₂ emitido/ud. producto ref = 220 x 1.87 = 411.4 g CO₂/pieza**
- **CO₂ emitido/ud. *2nd-baizlife* = 220 x 1.86 = 409.2 g CO₂/pieza**

En resumen, la diferencia en cuanto a contaminación entre la fabricación de una placa de *2nd-baizlife* y una del producto de referencia, es que con este último se emiten unos **2.2 g CO₂** más a la atmósfera que con. Una vez más, la visión de la importancia de esos datos con una perspectiva adecuada vendrá de manos de la cuantificación de los resultados que se obtendrán en la simulación del caso práctico que se llevará a cabo en la siguiente sección de este documento.

9. APLICACIÓN DEL PRODUCTO A UN CASO PRÁCTICO.

Nos disponemos, en la presente sección de este documento, a emprender los procedimientos necesarios para desarrollar la simulación de un caso práctico de aplicación de nuestro producto propuesto, las placas de falso techo registrable *2nd-baizlife*. Esta simulación nos permitirá valorar los datos obtenidos en la sección anterior desde una perspectiva notablemente más amplia, aquella que otorga el manejo de las ciclópeas cifras que caracterizan al mundo de la arquitectura y la construcción. Del mismo modo, esta experiencia servirá como prueba de fuego para determinar la viabilidad de *2nd-baizlife* como hipotético nuevo producto de mercado. El edificio elegido para materializar la simulación será la arena donde se enfrenten definitivamente nuestro *2nd-baizlife* y el producto que sirvió como su referencia, en una suerte de combate a muerte súbita donde el aspirante hará lo que esté en su poder para hacerse un hueco en el mundo de su veterano rival. Por ello, habrá de ser un edificio con la suficiente entidad como para afrontar el honor de suponer dicha elección.

Hablando más mundanamente, habrá de tratarse de un edificio de una entidad considerable con objeto de que los resultados de la simulación sean claros e inequívocos, y se tendrá como uno de los principales criterios de elección el hecho de que el uso al que el edificio elegido esté destinado sea apropiado para la aplicación del tipo de producto que se propone. Con todos esos conceptos en mente, el edificio elegido finalmente será Caja Granada, obra del arquitecto Alberto Campo Baeza. Este titán de la arquitectura se define como una gran cubo sobre un podio, de planta cuadrangular de dimensiones 57.3 m x 57.3 m y una altura que alcanza los 36 m, a los que llega a través de 7 plantas con una altura cada una de 3.60 m.



Figura 28: vista exterior de Caja Granada.
(Arqu. Alberto Campo Baeza.)

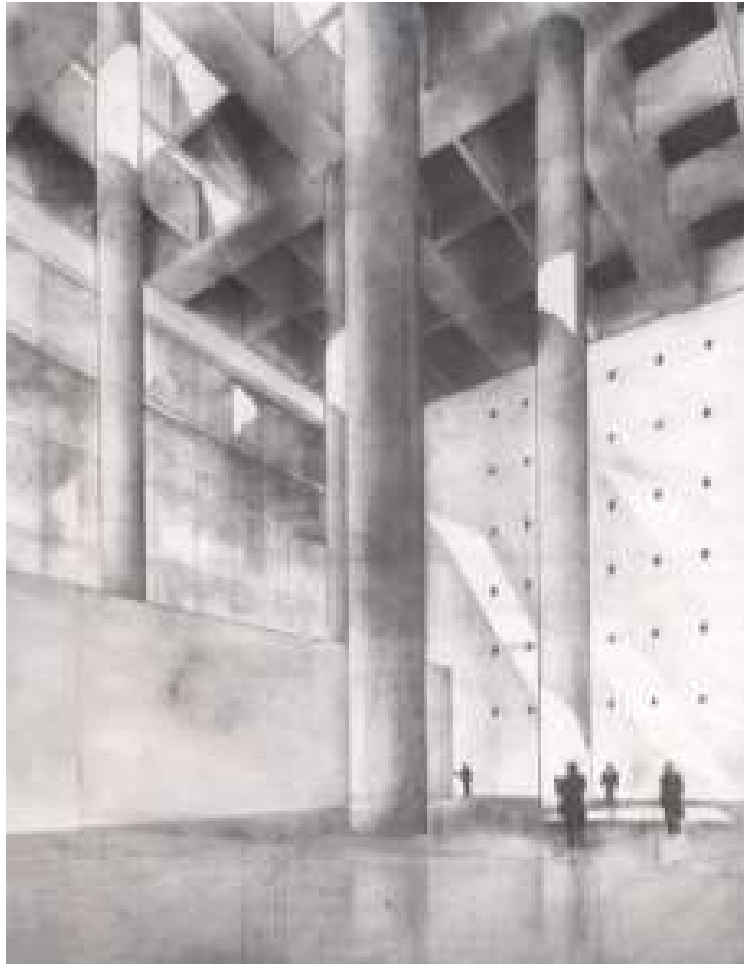


Figura 29: dibujo del interior de Caja Granada.
(Arqu. Alberto Campo Baeza.)

Uno de los principales elementos que caracterizan a este gigante de la arquitectura es su llamado *impluvium de luz*, un imponente patio interior de 29.10 m x 29.10 m iluminado por una perfectamente dirigida, diríase que dominada, luz natural a través de sus amplios lucernarios. Un patio que conecta amplísimos sectores de espacios abiertos en en las primeras y última de sus plantas conformando una visión que evoca una sensación de magnificencia tal a como lo hace su impactante imagen exterior.

El uso principal como sede bancaria de nuestro edificio exige la presencia de oficinas, despachos y salas de reuniones, cuyo diseño pragmático y funcional contrasta con la grandilocuencia de sus inmensos espacios abiertos. Se puede apreciar con nitidez cómo el arquitecto juega intencionalmente con este contraste, manifestándose dicha intencionalidad en las intersecciones y nexos entre ambas tan dispares categorías espaciales. El salón de actos de este centro bancario destaca especialmente como una presencia extraña que trata de romper la armonía del patio interior en su parte más baja; un intruso que ostenta la misma forma cúbica que el edificio que lo alberga, como una suerte de clon de si mismo alojado en sus propias entrañas.

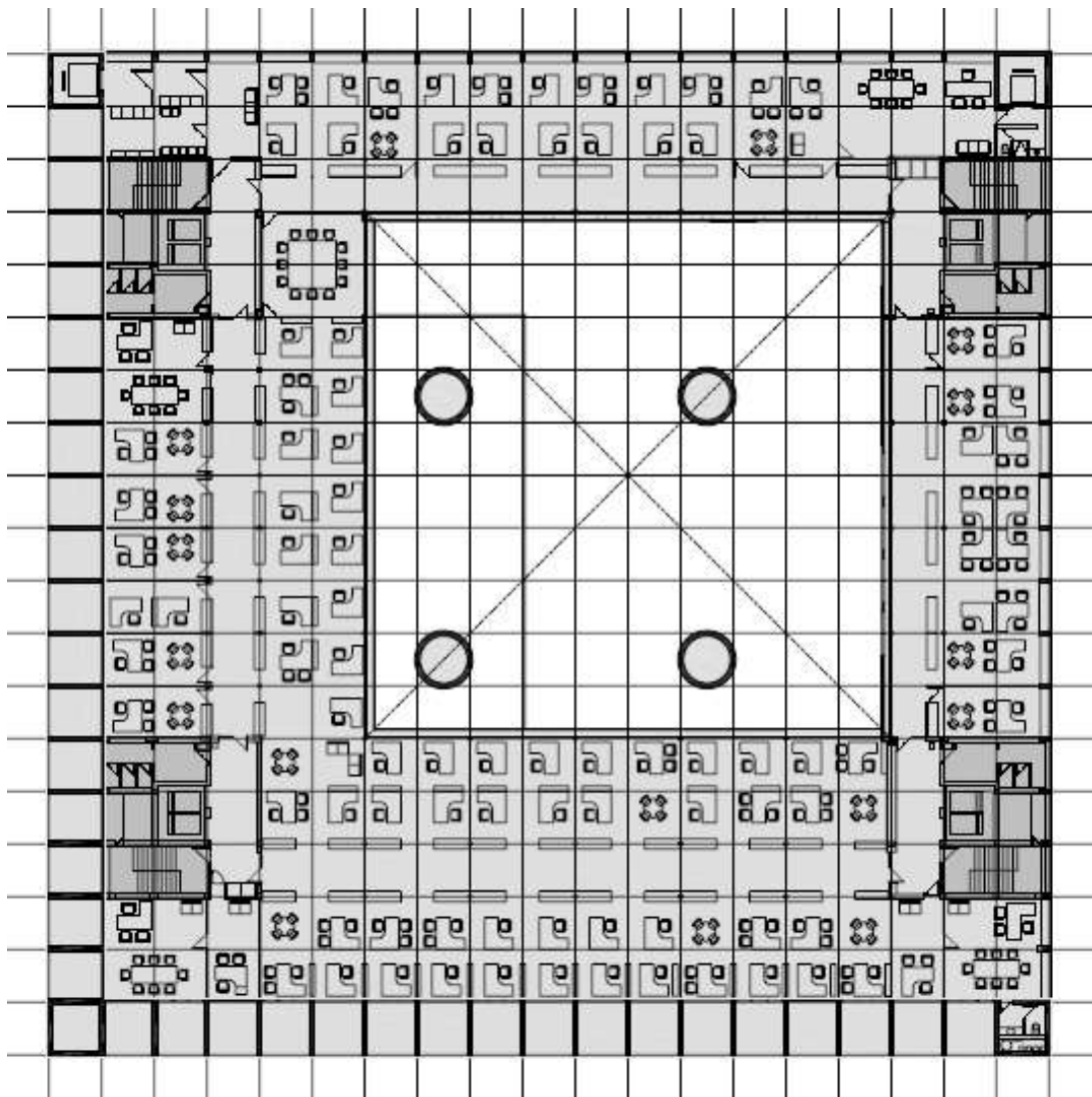
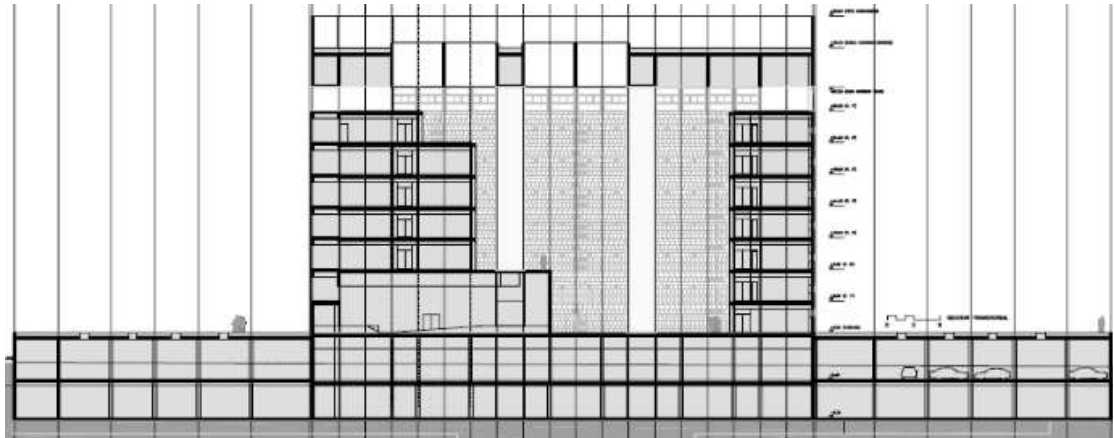


Figura 30: alzado y planta tipo de Caja Granada.
(Arqu. Alberto Campo Baeza.)

El uso mayoritario como edificio de oficinas de Caja Granada lo convierte en un candidato ideal para su uso en esta simulación, dado que el producto a aplicar, placas de techo con función fonoabsorbente, está especialmente concebido para ser empleado en este tipo de ámbitos (ver punto 8.1.). El procedimiento a seguir para llevar a cabo dicha simulación consistirá esencialmente realizar el cálculo de la demanda, en número de piezas, que requeriría el edificio si se pretendiese realizar una instalación de nuevos falsos techos; a continuación, una vez con esa cifra, remitirnos a las características definidas para nuestro producto y el producto de referencia en el apartado anterior de este documento, con objeto de ver el impacto en todos los ámbitos que tendría el emplear uno o el otro.

El primer paso antes de afrontar el desarrollo de la simulación, es determinar las hipótesis de partida que asumiremos y en las que nos basaremos a la hora de hacer dicha simulación efectiva. En nuestro caso, estas hipótesis serán tres:

- Se considerarán en exclusiva las zonas de oficinas, despachos y salas de reuniones y actos como las estancias donde instalar los falsos techos con nuestro producto. Como ya se ha explicado antes, el edificio goza de amplias zonas de espacios abierto, contabilizando áreas de espera, zonas de tránsito y otras, donde la aplicación de un falso techo no tiene sentido. Se descartan también los servicios y los recintos protegidos de las escaleras y ascensores, con la idea de que puede haber productos más adecuados que el nuestro para esas zonas en concreto.
- Se considerará que los tabiques de 10 cm o menos de espesor se tratan de separadores modulares desmontables que no interrumpen la continuidad del falso techo. Habida cuenta de la naturaleza de ese tipo de elementos constructivos, consideramos que los tabiques que no superen en plano dicho valor en su grosor no influyen en el cálculo de la superficie de demanda de falso techo.
- Se considerará una cifra del 5 % sobre las piezas necesarias obtenidas en cálculo con el fin de disponer de repuesto. El cálculo de demanda de superficie nos proporcionará un número concreto de piezas a instalar (quizás una más al redondear hacia arriba); sin embargo, dada la posibilidad de rotura, manchado u otros incidentes en la etapa de montaje, añadiremos a la cifra obtenida un 5 % más, como actitud preventiva.

Una vez definidas las hipótesis de partida, se comenzará el proceso de realización de la simulación. La metodología empleada para efectuar el cálculo de la demanda de superficie consistirá, en su primera fase, en la división de las zonas propicias para la instalación de nuestro producto en cada planta en sectores, caracterizados por la continuidad y homogeneidad arquitectónica de sus espacios. Habrá cuatro sectores en cada planta, exceptuando la planta 2, donde sólo habrá tres. Los sectores finalmente definidos se corresponden mayormente con los espacios contiguos a las cuatro caras exteriores del edificio, y se les aplicará una nomenclatura numerada comenzando con el 1 para el sector en la parte norte y siguiendo según el giro de las agujas del reloj.

Una vez definidos todos los sectores se procederá a la determinación del área efectiva de aplicación de cada una, lo cual se hará mediante el cálculo del área bruta del sector y del área de los elementos que puedan interrumpir el falso techo en ellos (pilares muros), restando entonces el segundo valor al primero. Todo ese procedimiento está recogido en el apartado **ANEJO 3: MEDICIONES DE SUPERFICIES PARA FALSOS TECHOS. CAJA GRANADA.**, disponible para su consulta en la parte final de este documento. A continuación ofrecemos un resumen de los resultados obtenidos en ese proceso de cálculo, así como, por supuesto, el valor total de la demanda de superficie que buscamos.



Figura 31: plantas de Caja Granada sectorizadas para cálculo de áreas.

SUPERFICIE (m2)							
SECTOR N°	PLANTA ACCESO	PLANTA 2	PLANTA TIPO				PLANTA 7
			3	4	5	6	
1	246.16	246.16	246.16	246.16	246.16	246.16	246.51
2	341.87	623.66	625.17	625.17	625.17	625.17	48.79
3	505.97	362.26	352.99	352.99	352.99	352.99	381.23
4	348.79	n/a	364.02	364.02	364.02	364.02	359.03
TOTAL por planta	1442.78	1232.08	1588.34	1588.34	1588.34	1588.34	1035.56
TOTAL EDIFICIO	10063.79						

Tabla 38 : resumen resultados de cálculo de áreas de Caja Granada.

De esta manera, obtenemos que la superficie total necesaria a abastecer mediante nuestras placas de falso techo es de 10063.79 m². Teniendo en cuenta que las dimensiones nominales (las que hay que tener en cuenta en este caso dada la necesidad de usar perfilera de agarre) de nuestras piezas son 600 x 600 mm, la demanda de piezas para la ejecución de todos los falsos techos de Caja Granada sería la siguiente:

- Área nominal de una pieza = $0.6 \times 0.6 = 0.36 \text{ m}^2$
- Nº de piezas necesarias = $10063.79 / 0.36 = 27954.97 \rightarrow 27955 \text{ piezas}$

Esto sería el número de piezas justas según nuestros cálculos, pero recordemos que en las hipótesis de partida asumimos que ante la previsible necesidad de disponer de repuestos, añadiríamos un 5 % más a la demanda de piezas obtenida. De este modo, la verdadera cifra a tener en cuenta es la siguiente:

- Nº de piezas provistas = $27955 \times 1.05 = 29352.75 \rightarrow 29353 \text{ piezas}$

Vamos a redondear aún más esa cifra, teniendo en cuenta que el fabricante del producto de referencia distribuye su producto en palets de 16 cajas con 10 piezas por caja (ver punto 8.1.). Si es nuestra intención asumir un protocolo de distribución idéntico, la cantidad óptima de piezas, habida cuenta de todos los demás condicionantes anteriores, será la siguiente:

- Nº de palets provistos = $29353 / 160 = 183.46 \rightarrow 184 \text{ palets}$

Redondeamos al alza para estar del lado de la seguridad de acuerdo a los condicionantes que nos hemos autoimpuesto, dado que el primer decimal es casi 5, es decir, la mitad de un palet. Con este valor, ya podemos cuantificar las piezas necesarias de manera definitiva:

- **Nº de piezas provistas = $184 \times 160 = 29440 \text{ piezas}$**

De modo que la cantidad estimada de piezas a disponer es 29440. Esto nos proporciona una idea inicial del tipo de cifras que se manejan en una obra importante. Tras esta primera determinación, procederemos a abordar el punto clave de esta experiencia: la comparativa entre el empleo del producto de referencia y nuestro producto, el *2nd-baizlife*, en este caso simulado, y determinar sus ventajas e inconvenientes como criterio último de validación de nuestra propuesta.

El primer factor a tener en cuenta es el peso (masa) de los elementos empleados, ya que éste repercute en aspectos tales como el transporte, y, por tanto, en el consumo energético que éste conlleva:

- **Masa piezas de referencia = $29440 \times 1'87 = 55.05 \text{ T}$**
- **Masa piezas *2nd-baizlife* = $29440 \times 1'90 = 55.93 \text{ T}$**

Lo que podemos observar de manera inmediata es que usar nuestro producto implica poner en obra **casi 1 tonelada** más de masa a manejar y transportar. Dependiendo del tipo de vehículo que se emplee para el transporte de los materiales a obra, podría darse remotamente el caso de que se requiriese realizar un viaje más, aunque dado el tonelaje de los vehículos empleados usualmente (por ejemplo, los de 4 ejes aguantan 31 T [gruasagudo.es]), esto es poco probable para

un margen de una mera tonelada. Para finalizar, señalar que el impacto al medio ambiente ocasionado por el transporte sólo suponen el 20% del impacto total del proceso constructivo, en comparación al proceso de producción el cual produce alrededor del 70 % [34]. Por todo ello consideramos que, aunque aquí nuestro producto esté en desventaja, este factor no es relevante, o al menos no lo es en comparación a los que veremos a continuación.

El siguiente factor a considerar, ya más relevante, se trata de el consumo energético ocasionado en la producción de los elementos constructivos que vamos a instalar. Empleando el consumo energético por pieza que se determinó para ambos productos en la sección anterior, los valores derivados de esta obra simulada serán los siguientes:

- **Consumo energético piezas de referencia** = $29440 \times 4.49 = 132.19 \text{ MJ}$
- **Consumo energético piezas 2nd-baizlife** = $29440 \times 4.46 = 131.3 \text{ MJ}$

Aquí vemos que emplear nuestro 2nd-baizlife supone el ahorro de casi **1 MJ**, casi 0.3 Kw/h (la potencia de un refrigerador), y algo menos que 1/6 de barril de petróleo. Aquí puede comprobarse cómo una nimia diferencia puede implicar un cambio sensible cuando manejamos las cifras del mundo de la construcción. Ciertamente es que tampoco estamos hablando de cifras espectaculares, pero se trata de casi un sexto de barril de petróleo quemado menos, y eso ya es algo. Y el ahorro no podría hacer más que aumentar a la larga si se fuese sustituyendo el uso del producto de referencia por el 2nd-baizlife en un hipotético caso de salida al mercado.

El factor valorado a continuación, relacionado con el anterior, es la emisión de contaminación de CO₂ a la atmósfera como resultado directo de la producción del material básico en la composición de los productos estudiados: el yeso. Empleando los valores unitarios determinados en la fase de diseño del producto propuesto, podemos averiguar la emisión de contaminante que ocasionaría la creación de todas las piezas puestas en obra:

- **Emisión CO₂ piezas de referencia** = $29440 \times 411.4 = 12.11 \text{ T CO}_2$
- **Emisión CO₂ piezas 2nd-baizlife** = $29440 \times 409.2 = 12.05 \text{ T CO}_2$

Aquí ya empezamos a ver cifras más atractivas: el hipotético uso de nuestro 2nd-baizlife en lugar del producto de referencia le ha ahorrado a la atmósfera **60 kg de emisiones de CO₂**. Si bien la cifra palidece en comparación con las más de 12 toneladas de emisiones que implica la fabricación de ambos productos, lo cierto es que esos 60 Kg ya implican una (pequeña) rentabilización ecológica del producto, la cual, de nuevo, se vería acentuada a la larga con una hipotética implantación de 2nd-baizlife en el mercado. Recordemos que los procesos de mejora y afinación de cualquier producto son lentos y a través de cambios minúsculos a lo largo del tiempo, de modo que no nos hemos de deprimir si nos parece que las cifras no son lo suficientemente significativas.

Para concluir, el último factor a analizar no deja de ser de los más influyentes, aunque carezca de las connotaciones positivas de los dos anteriores. Se trata del aspecto puramente económico. Determinar la diferencia del presupuesto que se produciría entre emplear nuestro producto y el de referencia, y encontrar que ésta nos sea sensiblemente favorable, podría servirnos como baza para defender la viabilidad de nuestra propuesta en una hipotética situación real de competencia en el mercado. Con las cifras por pieza ya determinadas en la sección anterior de este documento, hallarlas es cuestión de un sencillo cálculo:

- **Precio total piezas de referencia** = $29440 \times 15.50 = 456320 \text{ €}$
- **Precio total piezas 2nd-baizlife** = $29440 \times 14.80 = 435712 \text{ €}$

En esta ocasión sí que podemos apreciar un valor inmediato y comprensible por todos: **20608 €** de diferencia favorables a nuestro *2nd-baizlife*. De nuevo, la cifra puede resultar irrisoria en comparación a los dos presupuestos planteados, pero no cabe duda de que un reducción como ésta en un presupuesto, si se hace notar, resulta atractiva por sí misma y puede constituir un factor clave a la hora de elegir un producto sobre otro. Nuestro producto gana en esta ocasión la batalla del dinero, y eso le da algunas bazas en su capacidad de competir con lo preestablecido en una hipotética situación real. Por ello, y como resumen, podría afirmarse que, si se cumpliesen todas las hipótesis que hemos asumido de partida, nuestro producto propuesto, el *2nd-baizlife*, podría tener una posibilidad de hallar un hueco en el saturado mercado actual, constituyendo por sí mismo un medio de reciclaje de los materiales plásticos que tanto daño, aunque tarde en percibirse, están haciendo.

10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Tras todo el proceso documental, empírico y analítico que hemos desarrollado a lo largo de este documento, la primera conclusión a la que llegamos es que no estamos haciendo lo suficiente. Nuestra primera exposición, y posterior profundización, en la temática relativa a los terribles perjuicios que está causando la contaminación por residuo plástico no tratado, especialmente siendo alguien para el que dicha temática resultaba ajena, nos ha hecho toparnos con una terrible realidad y nos ha abierto los ojos a unos trágicos sucesos que estaban ocurriendo a nuestro alrededor sin darnos la más mínima cuenta; diría más: unos sucesos que NOSOTROS estamos provocando sin siquiera darnos cuenta. Una vez más, el ser humano demuestra su soberbia y su ignorancia, y lo peor de todo es que probablemente quien más acabe sufriendo las consecuencias de todo ello serán inocentes que, a día de hoy, ni siquiera han nacido aún. Está pasando, y uno no tiene más que escarbar un poquito más allá de la publicidad interesada y los tópicos manidos para observar de primera mano los síntomas, así como también las consecuencias. No estamos haciendo lo suficiente, y no estamos comunicando lo suficientemente bien.

El siguiente paso en nuestras reflexiones finales consiste en lamentar el hecho de que no se haya podido disponer de más medios instrumentales para realizar más pruebas y ensayos sobre los elementos objeto de nuestro estudio. Las conclusiones obtenidas tras desarrollar todo el proceso analítico y empírico que estaba en nuestra mano poder realizar, nos dicen que nuestro producto podría hipotéticamente funcionar en una situación real de uso, e incluso podría encontrar su propio nicho en un mercado ya firmemente establecido. Sin embargo no podemos sino admitir que nos hemos tomado demasiadas licencias en nuestras hipótesis de partida, asumido como ciertos muchos datos y conceptos que no tendrían por qué serlo y que, de no serlo, podrían dar completamente la vuelta a nuestras conclusiones respecto al producto en cuestión. Es por ello que, en ocasiones, no nos hemos podido quitar de encima del todo la sensación de estar haciéndonos "trampas al solitario", y de que todo nuestro trabajo, investigación y análisis no resultaría más que papel mojado sin valor. Quizás esta sencilla reflexión pueda servir para concienciar a alguien que tenga tener influencia de algún modo al respecto y las cosas mejoren para los cursos y generaciones posteriores; el tema interesa, y la experimentación de algo que interesa, también interesa. No deis nunca lo contrario por sentado.

Respecto al residuo elegido y los resultados obtenidos, decir que a posteriori me satisface especialmente la elección de las bayetas de microfibra como objeto de experimentación; una elección que en su momento resultó más fruto del azar y la ocurrencia que de otra cosa. Gracias a dicha elección, se ha profundizado en la información acerca de un material concreto sobre el que casi no existen datos específicos disponibles en lo referente al destino que tienen tras finalizar su vida útil, y la experiencia recopilada en este documento puede aportar su granito de arena de originalidad al bagaje científico general. Un residuo originado de un elemento con una vida útil sometida a tal continuo proceso de insalubridad debería haber sido objeto de estudio específico antes, aunque solo fuese para ilustrar cómo el proceso del reciclado purifica y hace reutilizable materiales cuyo origen ni sabríamos ni querríamos en muchos casos determinar.

Los resultados en cuanto a la propuesta de un nuevo producto que participe como medio del reciclaje nos han resultado relativamente favorables, si bien como ya se mencionó antes se han asumido quizás demasiadas cosas como para poner la mano en el fuego por dichos resultados; sin embargo, la información recopilada acerca del componente esencial de nuestro residuo, la microfibra, nos hace pensar que sus propiedades son lo suficientemente buenas como para que, quizás dispuestas de otra forma en lugar de en trozos recortados a mano, se habrían obtenido resultados genuinamente mejores. De nuevo, ese lamento por no haber tenido más medios instrumentales a nuestra disposición.



Figura 32: Proceso interno de reciclaje en el sector de la construcción
(Manual PLADUR. 1ª edición, 2017)

Por último, una conclusión final respecto al sector de la construcción en particular. Nuestro ámbito específico, por así decirlo. Uno de los datos que más ha salido a relucir durante el proceso de investigación respecto a la contaminación y el reciclaje, es la importancia del impacto en el medio ambiente que produce toda la actividad humana englobada en el mundo de la construcción, desde el mismo momento de producción de los materiales y recursos empleados, hasta en el proceso de montaje, e incluso durante el mínimo proceso de mantenimiento. Es por ello que me ha resultado muy interesante este concepto de proceso interno de reciclaje dentro del mundo de la construcción, de modo que éste forme parte de aquel de una forma orgánica y fluida, como el resto de procesos vinculados con él. Profundizar en este proceso de "retroalimentación" en su propio ciclo "natural" creo que sería un paso muy importante en la búsqueda de la tan ansiada sostenibilidad. Es por ello que felicito a mis compañeros que hayan tomado como objeto de estudio un residuo de obra o de elemento constructivo desechado, cuyos trabajos, no lo dudo, avanzarán en este camino por muy nimia que pueda parecer su aportación. Ante ello, me vienen a la mente a la vez dos figuras muy diferentes: Neil Armstrong y el refranero popular... Pero algo tienen en común; y es que "grano no hace granero, pero ayuda al compañero", al mismo tiempo que "un pequeño paso para el hombre, un gran paso para la humanidad."

- [1] Sturchio J. et al. American Chemical Society (1993). [«The Bakelizen»](#) (en inglés). Consultado el 15 de enero de 2012.
- [2] "Plastics - the facts 2016: an analysis of European plastics production, demand and waste data". Plastics Europe, 2016.
- [3] Barnes, K. A. et al. "Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments". 2009.
- [4] Derraik, J. G. "The pollution of the marine environment by plastic debris: a review." 2002.
- [5] CEDEX "Estudio sobre cuantificación de fuentes de microplásticos e identificación de posibles medidas para su reducción en la fuente". Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2016.
- [6] Cole M. et al. "Microplastics as contaminants in the marine environment: A review". Marine Pollution Bulletin #62, pgs. 2588–2597, 2011.
- [7] Jambeck, J. R. et al. "Plastic waste inputs from land into the ocean". Science #347, 2015.
- [8] Lebreton, L. C. M. et al. "River plastic emissions to the world's oceans". Nature Communications #8, art. 15611, 2017.
- [9] Mani, T. et al. "Microplastics profile along the Rhine River". 2015.
- [10] Geyer, R. et al. "Production, use, and fate of all plastics ever made". American Association for the Advancement of Science, 2017.
- [11] Greenpeace España. [Online]. Disponible: <https://es.greenpeace.org/es>. [Consultado: 24-02-2019].
- [12] Creton C. "Molecular stitches for enhanced recycling of packaging". Science #355, 2017.
- [13] *The APR Design® Guide for Plastics Recyclability*. Association of Plastic Recyclers, 2018.
- [14] *Guía de buenas prácticas para la preparación para la reutilización y la valorización de los residuos textiles y de calzado en Cataluña*. Datambient Assessors, SL, Gremio de Recuperación de Cataluña y Agencia de Residuos de Cataluña Agencia de Residuos de Cataluña (ARC), 2015.
- [15] Observatorio Industrial del Sector Textil/Confección, FEDIT, 2011.
- [16] Ellen MacArthur Foundation, *A new textiles economy: Redesigning fashion's future*, 2017, Disponible: <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>. [Consultado: 24-02-2019].
- [17] Binici, H. et al., *Insulation properties of bricks made with cotton and textile ash wastes*. 101, pp. 2–7, 2010.
- [18] Centro de Información Textil y de la Confección (CITYC) [Online]. Disponible: <http://consejointertextil.com> [Consultado: 24-02-2019].

- [19] Fundación Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA). [Online]. Disponible: <https://www.ifad.org/es/> [Consultado: 24-02-2019].
- [20] Web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. [Online]. Disponible: <http://www.magrama.gob.es/> [Consultado: 20-03-2019].
- [21] ASIRTEX. Asociación Ibérica del Reciclaje Textil. [Online]. Disponible: <http://www.asirtex.org>. [Visitado: 23-04-2019].
- [22] Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2016-2022 ([PEMAR](#)). [Online]. Disponible: <http://www.magrama.gob.es/> [Consultado: 20-03-2019].
- [23] Woolridge, A. C, *Life cycle assessment for reuse/recycling of donate waste textiles compared to use of virgin material: An UK energy saving perspective*, 2005.
- [24] Agencia de Residuos de Cataluña (ARC). [Online]. Disponible: <http://residus.gencat.cat/es/inici/> [Consultado: 22-03-2019].
- [25] Ley 22/2011 (Nº 181) de residuos y suelos contaminados. Boletín Oficial del Estado, España, 29/07/2011.
- [26] Web del Ministerio para la Transición Ecológica. [Online]. Disponible: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/Planes-y-Programas.aspx> [Consultado: 4-04-2019].
- [27] Farrant, L. *Environmental benefits from reusing clothes*. Technical University of Denmark, 2008.
- [28] Cooperativa "Roba Amiga" [Online]. Disponible: <https://www.robaamiga.cat/es/> [Consultado: 2-03-2019].
- [29] Alía, C.; Ocaña, R. *TeksTeela. Un segundo uso para la tela*. Área de Innovación, Comercialización y Creación de Empresas Centro de Apoyo a la Innovación Tecnológica – Universidad Politécnica de Madrid, 2017.
- [30] Barbero Barrera, M.M.; Pombo; O., Navacerrada, M.A. *Textile fibre waste bindered with natural hydraulic lime*. COMPOSITES PART B-ENGINEERING 94: 26-33. 2016.
- [31] Universidad Politécnica de Madrid. [Online]. Disponible: http://www.upm.es/observatorio/vi/index.jsp?pageac=innovacion/articulo.jsp&id_articulo=625&id_tipo_articulo=2 [Consultado: 1-04-2019].
- [32] *ASTM C423-17: Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method*, ASTM International. Disponible: <https://www.astm.org/Standards/C423.htm>
- [33] Anink, D., Boonstra, C., y Mak, J. *Handbook of Sustainable Building. An Environmental Preference Method for Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment*. Londres, 1996.
- [34] *Manual PLADUR*. 1º edición, 2017. Disponible: https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/104301/manual-pladur-ok.pdf
- [35] *El yeso. Producción de materiales para acabados en la construcción a partir de un yeso de alta calidad y pureza*. ecoingenieria.org. Disponible: www.ecoingenieria.org/docs/LOS_YESOS_2005.pdf
- [36] Arenas Cabello F. *Los materiales de construcción y el medio ambiente*. CICA. Disponible: https://huespedes.cica.es/gimadus/17/03_materiales.html

ANEJO 1:

FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO DE REFERENCIA.

GYPTONE REGISTRABLE POINT 80 - A.

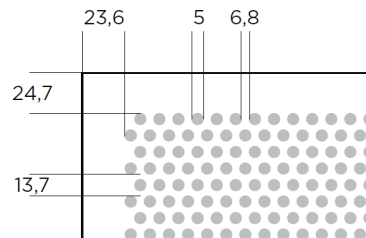
DESCRIPCIÓN:

Placa fonoabsorbente para techo registrable fabricada en base a Placa de Yeso Laminado, con perforaciones realizadas mediante punzonado y con tecnología Activ'Air® en su fabricación.

CAMPOS DE APLICACIÓN:

Ejecución de falsos techos desmontables fonoabsorbentes y decorativos en:

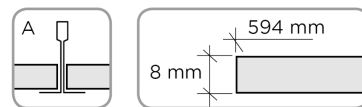
- Locales donde se quiera realizar una corrección acústica, disminuyendo el tiempo de reverberación.
- Edificios Comerciales, Hoteles, Oficinas, Auditorios, Edificios públicos, Colegios, Hospitales, Restaurantes, Museos, etc.
- Salones de actos, salas de reuniones, salas de conferencias o exposiciones, etc.



VENTAJAS:

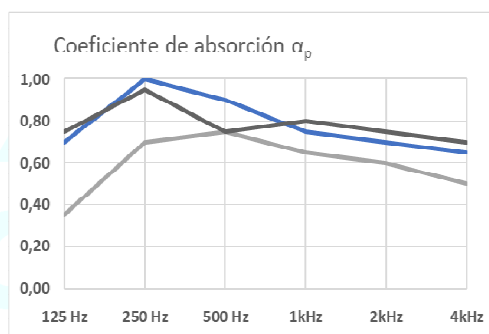
- Elimina los COVs (familia aldehídos) del aire gracias a la tecnología Activ'Air®.
- Facilidad y rapidez en la instalación.
- El velo de tisú fonoabsorbente adherido en su reverso, detiene las altas frecuencias, e impide la caída de partículas desde el plenum.
- Registrable. Permite ser desmontado y acceder al plenum del falso techo.
- Se suministra pintada de color blanco y permite su repintado posterior.

• Tipo de borde



DATOS TÉCNICOS:

- **Espesor nominal:** 8 mm
- **Dimensiones nominales:** 600 x 600 mm
- **Tipo de borde:** A
- **Tipo de perforaciones:** Circulares
- **Dimensiones perforaciones:** 5 mm
- **Perforaciones:** 19 %
- **Peso:** 5,3 kg/m²
- **Reacción al fuego:** A2-s1, d0
- **Color del velo de tisú:** Blanco
- **Reflexión a la luz:** 70% con pintura estándar blanca.
- **Acondicionamiento:** Palet 16 cajas 10 uds.
- **Nivel de emisiones:** A+ (Francia-Decreto 19/04/11)



	Plenum	Lana mineral	Frecuencias						αw	NRC	αm
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz			
	200 mm	-	0,35	0,70	0,75	0,65	0,60	0,50	0,65	0,70	0,65
	200 mm	50 mm	0,70	1,00	0,90	0,75	0,70	0,65	0,75	0,85	0,80
	400 mm	50 mm	0,75	0,95	0,75	0,80	0,75	0,70	0,80	0,80	0,75

MANIPULACIÓN:

Deberá ponerse especial cuidado en el transporte y manipulación de las placas evitando golpes que puedan ocasionar posibles roturas de las placas, especialmente en sus bordes.

ALMACENAJE Y CONSERVACIÓN:

Almacenar las placas sobre superficies planas y nunca a la intemperie, manteniéndolas a cubierto, resguardadas de la luz solar y de la lluvia.

PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS:

Perfilería Quicklock y accesorios de cuelgue.

RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO:

Las placas deben ser limpiadas con una esponja/paño húmedo o con un aspirador para retirar el polvo. En caso de manchas permanentes las placas pueden ser repintadas con un pincel o con un rodillo de pelo corto. Es recomendable usar pintura en base agua. Las placas no deben ser pintadas con spray.

FORMA DE MONTAJE:

Consultar el Manual de Instalador Placo® y el Manual de Soluciones Constructivas en Techos.

Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de SAINT-GOBAIN PLACO IBERICA S.A. de sus productos, cuando son correctamente almacenados, manejados e instalados en situaciones normales, y dentro de su vida útil. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. SAINT-GOBAIN PLACO IBERICA S.A. se reserva el derecho de cambiar las especificaciones técnicas del producto sin previo aviso. Es responsabilidad del usuario conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos, copia de las cuales se mandarán a quien las solicite.

CE
EN 14190



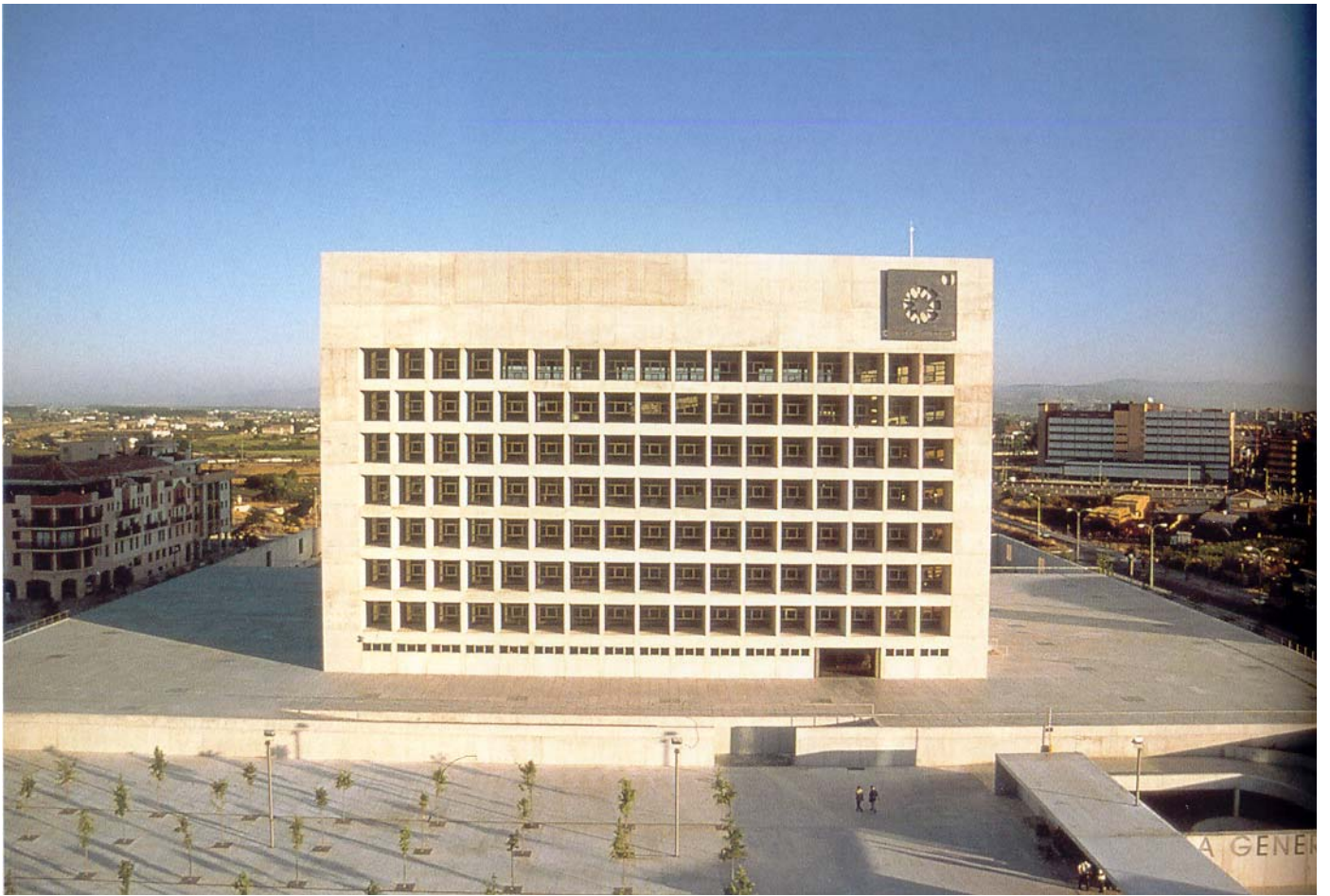
ANEJO 2:

PROYECTO PARA SIMULACIÓN DE CASO PRÁCTICO.

CAJA GRANADA.

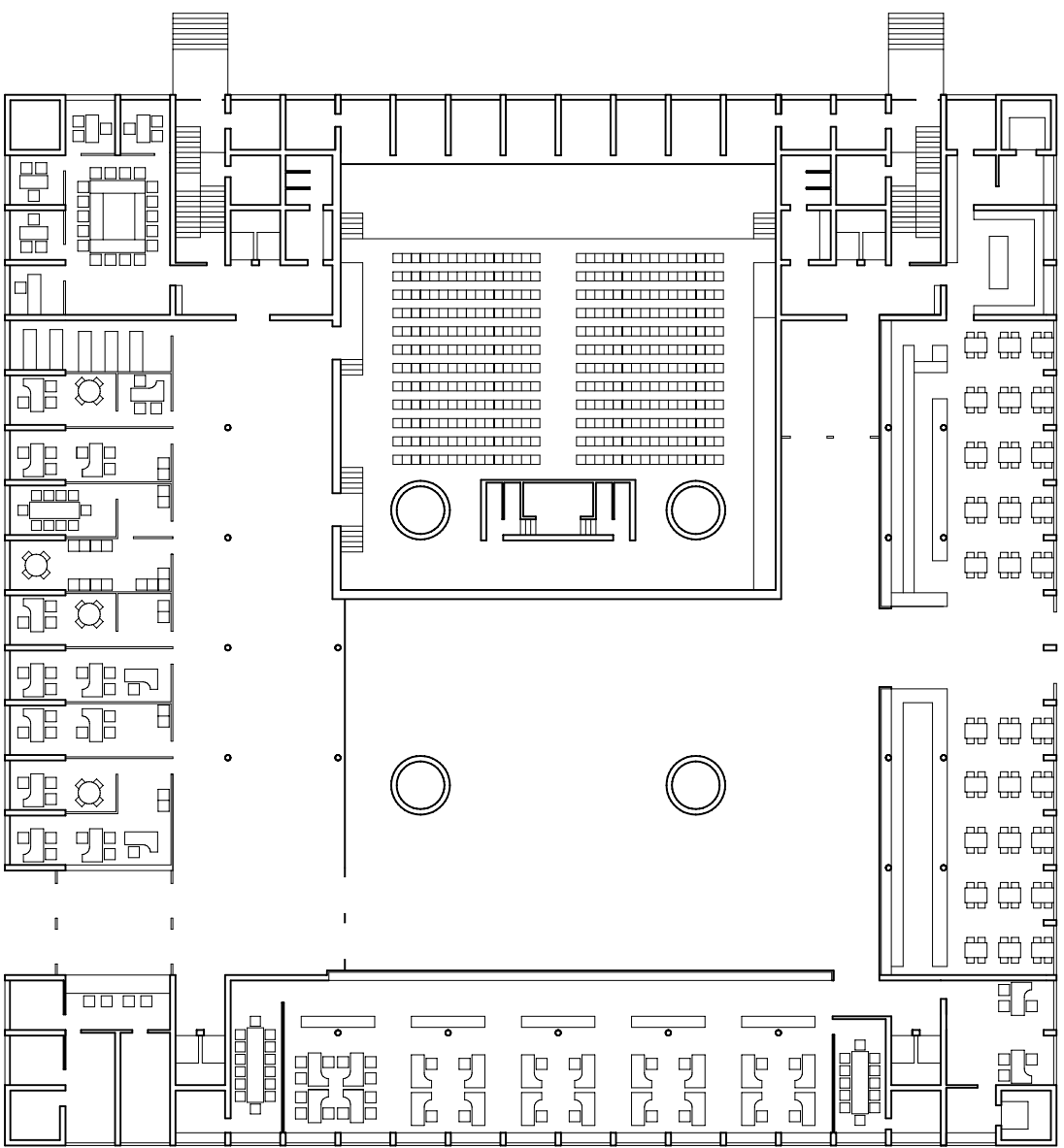








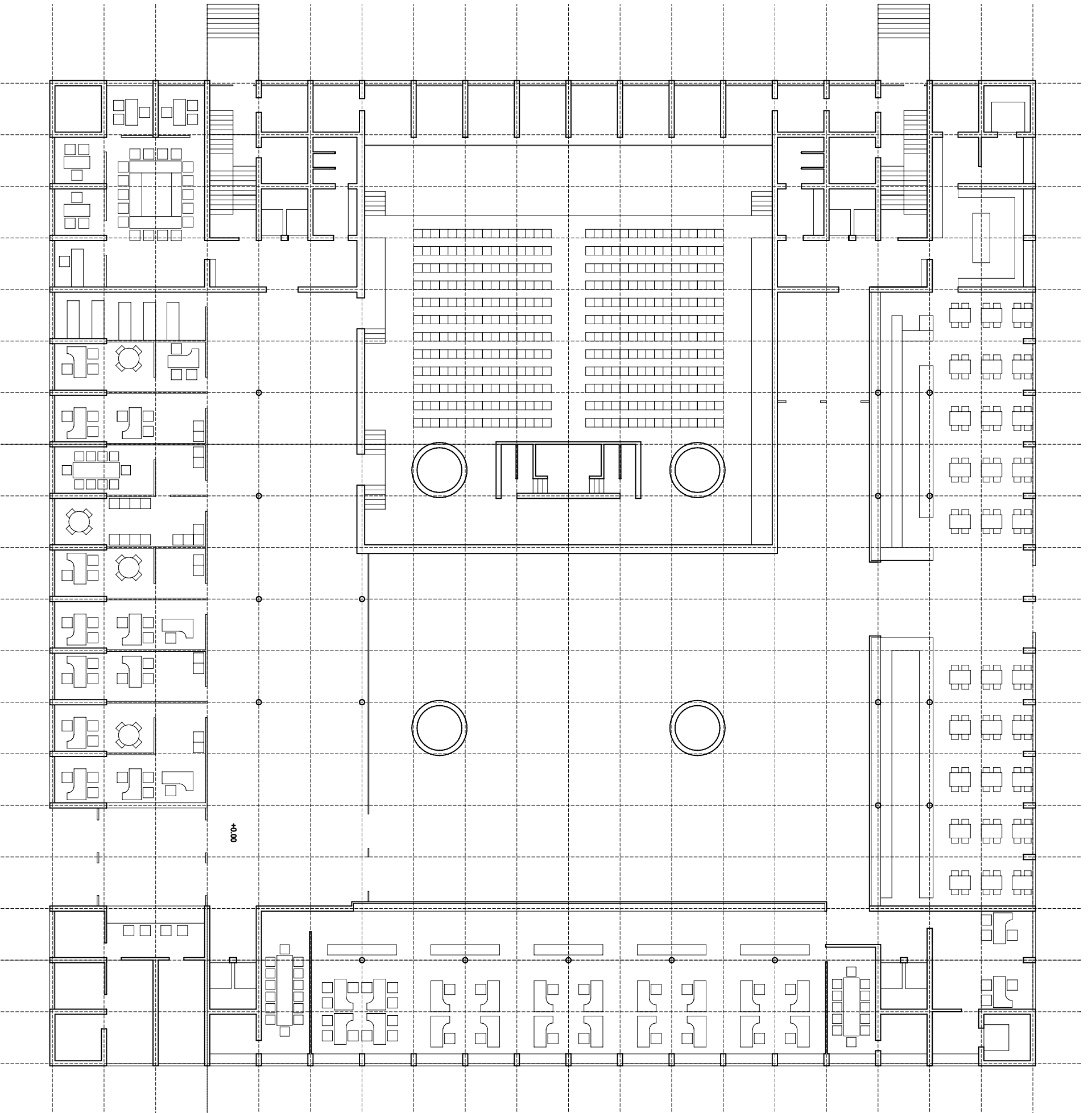




PLANTA DE SITUACION

PRACTICA PCI
CURSO 2013-2014

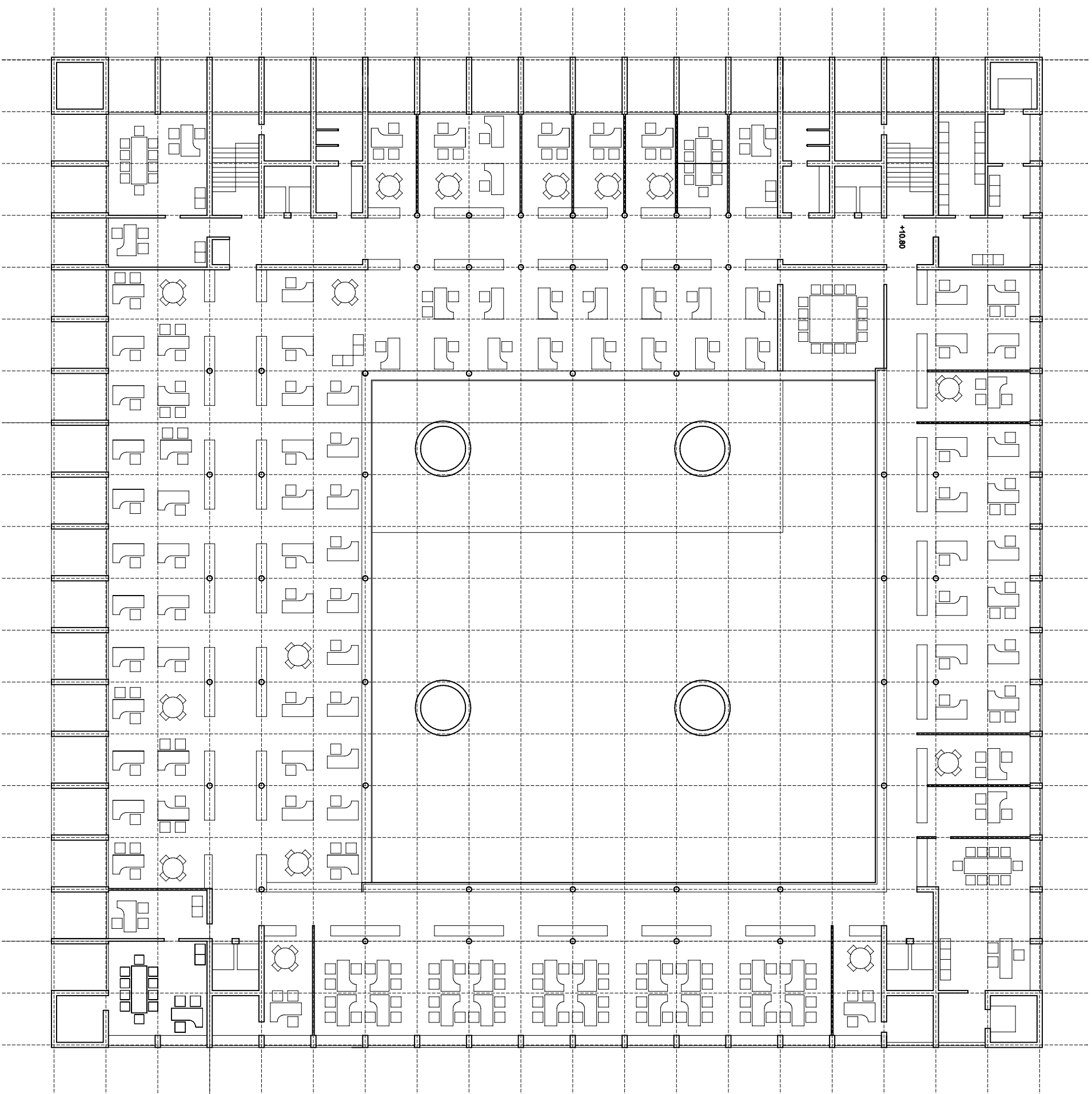
CAJA GENERAL GRANADA
ALBERTO CAMPO BAEZA
1/400



PLANTA DE ACCESO

PRACTICA PCI
CURSO 2013-2014

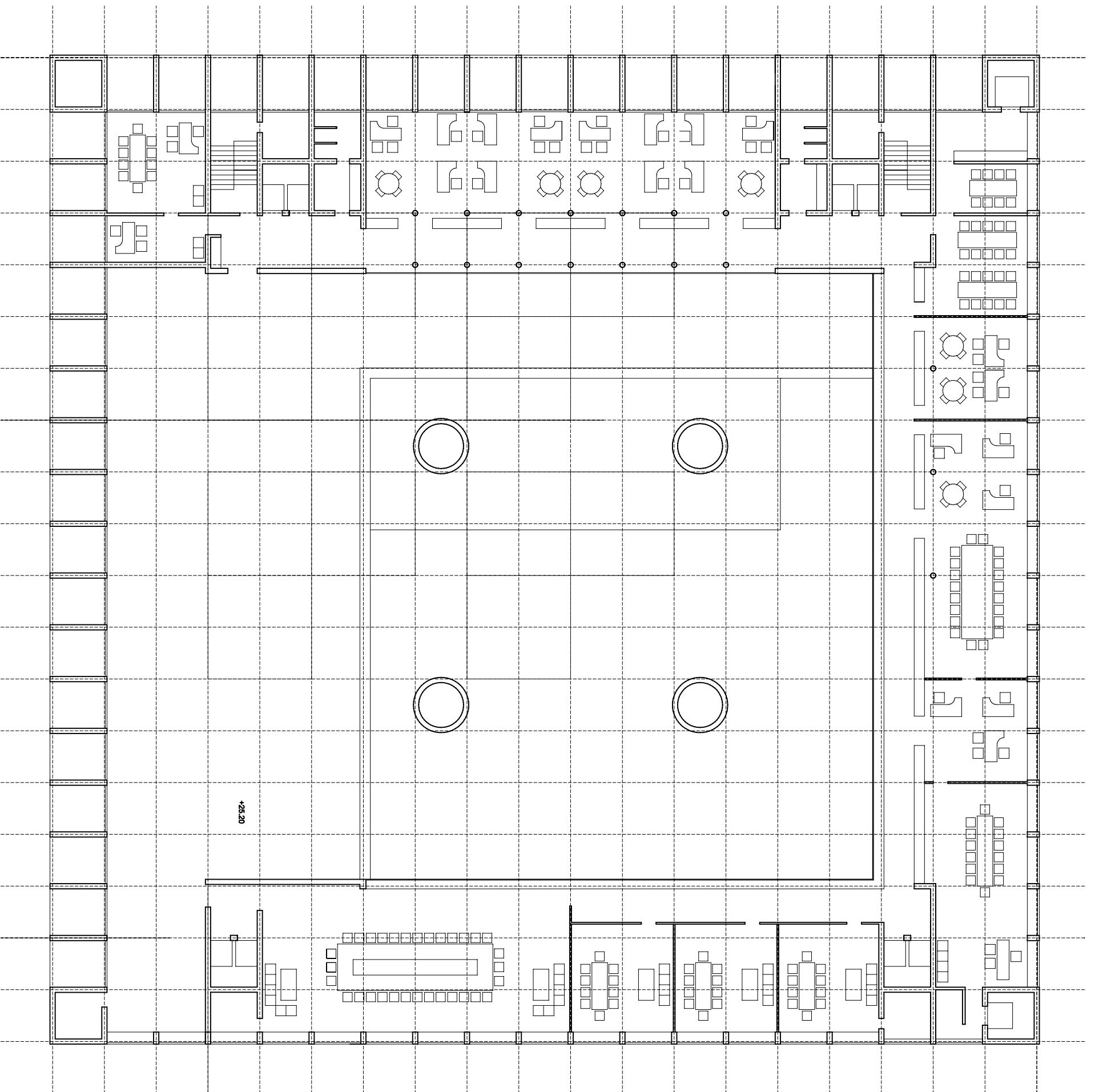
CAJA GENERAL GRANADA
ALBERTO CAMPO BAEZA
1/250



PLANTA TIPO

PRACTICA PCI
CURSO 2013-2014

CAJA GENERAL GRANADA
ALBERTO CAMPO BAEZA 1/250



PLANTA 7

PRACTICA PCI
CURSO 2013-2014

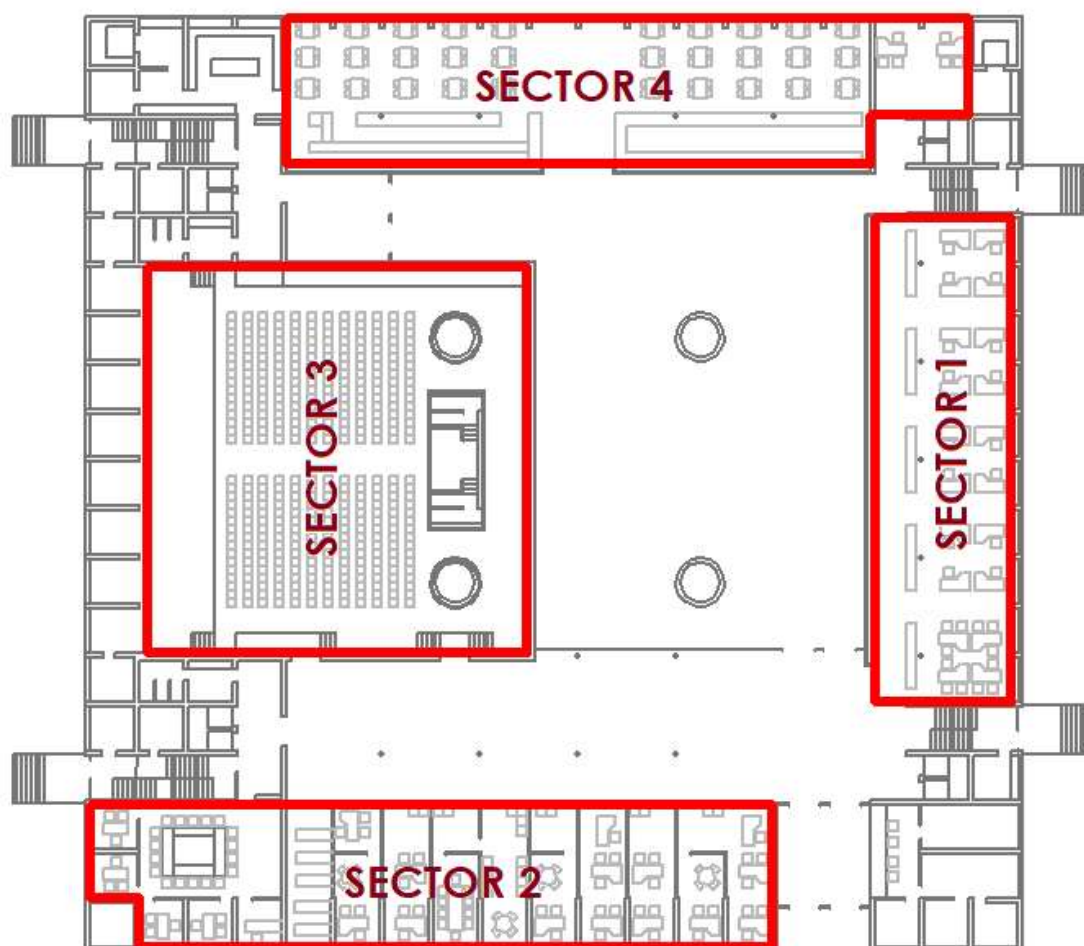
CAJA GENERAL GRANADA
ALBERTO CAMPO BAEZA 1/250

ANEJO 3:

MEDICIONES DE SUPERFICIES PARA FALSOS TECHOS.

CAJA GRANADA.

PLANTA DE ACCESO:

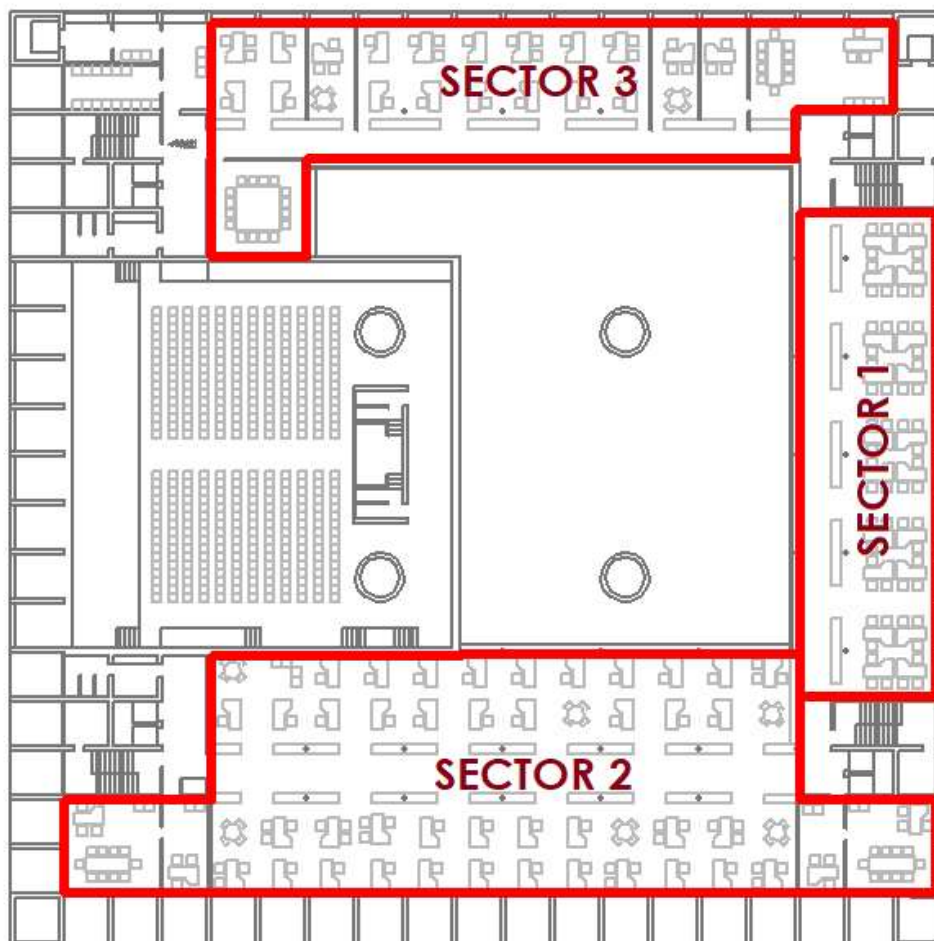


Plano de sectorización de planta de acceso.

SECTOR N°	ÁREA	PLANTA ACCESO						ÁREA EFECTIVA	ÁREA EFECTIVA TOTAL
		PILARES			MUROS				
		número	diámetro	área total	espesor	longitud	área total		
1	246.51	5	0.3	0.35	0	0	0	246.16	1442.78
2	355.28	0	0	0	0.3	44.7	13.41	341.87	
3	549.84	2	3.2	16.08	3.3	8.42	27.79	505.97	
4	351.05	4	0.3	0.28	0.3	6.6	1.98	348.79	
unidades	m2		m	m2	m	m	m2	m2	m2

Cálculo de superficie de planta de acceso.

PLANTA 2:

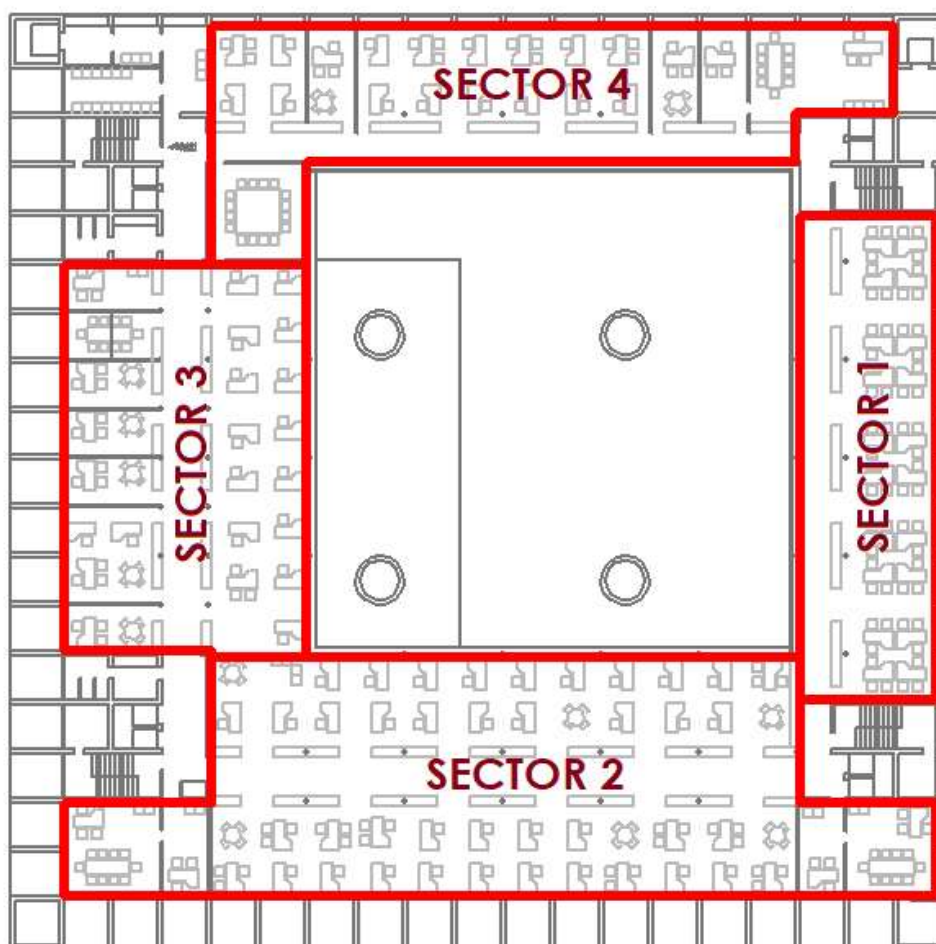


Plano de sectorización de planta 2

PLANTA 2									ÁREA EFECTIV TOTAL
SECTOR Nº	ÁREA	PILARES			MUROS			ÁREA EFECTIVA	
		número	diámetro	área total	espesor	longitud	área total		
1	246.51	5	0.3	0.35	0	0	0	246.16	1232.01
2	624.5	11	0.3	0.78	0.3	0.2	0.06	623.66	
3	363.2	3	0.3	0.21	0.15	4.85	0.73	362.26	
unidades	m2		m	m2	m	m	m2	m2	m2

Cálculo de superficie de planta de acceso.

PLANTA TIPO (PLANTAS 3, 4, 5 y 6):



Plano de sectorización de planta tipo

SECTOR N°	ÁREA	PLANTA TIPO						ÁREA EFECTIVA	ÁREA TOTAL
		PILARES			MUROS				
		número	diámetro	área total	espesor	longitud	área total		
1	246.51	5	0.3	0.35	0	0	0	246.16	1588.34
2	626.01	11	0.3	0.78	0.3	0.2	0.06	625.17	
3	353.98	14	0.3	0.99	0	0	0	352.99	
4	364.96	3	0.3	0.21	0.15	4.85	0.73	364.02	
unidades	m2		m	m2	m	m	m2	m2	m2

Cálculo de superficie de planta tipo.

PLANTA 7:



Plano de sectorización de planta 7

PLANTA 7									ÁREA EFECTIV TOTAL
SECTOR Nº	ÁREA	PILARES			MUROS			ÁREA EFECTIVA	
		número	diámetro	área total	espesor	longitud	área total		
1	246.51	0	0	0	0	0	0	246.51	1035.54
2	49.52	0	0	0	0.15	4.85	0.73	48.79	
3	382.22	14	0.3	0.99	0	0	0	381.23	
4	359.88	3	0.3	0.21	0.15	4.25	0.64	359.03	
unidades	m2		m	m2	m	m	m2	m2	m2

Cálculo de superficie de planta 7

