



Received: 03/11/2021

Accepted: 11/11/2021

Anales de Edificación

Vol. 7, Nº3, 35-44 (2021)

ISSN: 2444-1309

Doi: 10.20868/ade.2021.4973

Comparación de la incorporación de residuos de cartón yeso en probetas y cartón yeso Comparison of the incorporation of residue of plasterboard in specimens and plasterboard

Anabel Patricia Castillo Rodríguez^a; Luz Alejandra Santander Peralta^a

^a Universidad Politécnica de Madrid (Spain, anabel.castillorod@alumnos.upm.es, alejandra.santander.peralta@alumnos.upm.es)

Resumen— El creciente aumento de residuos derivados de actividades como la demolición y su potencial reciclaje, permiten realizar un análisis comparativo de estudios experimentales y tres artículos en donde se ha incorporado residuos de yeso calcinado para la elaboración de probetas y placas entre 5% al 100% de incorporación de residuo y con granulometrías que varían del 0.063mm hasta 4mm, las muestras se han curado en condiciones de temperatura ambiente y cámara húmeda para determinar la influencia que pueden ejercer las condiciones de curado en sus características físicas y mecánicas. Los resultados resaltantes muestran la disminución gradual de la densidad de mayor granulometría a la menor, así mismo influye de forma inversa el porcentaje de adicción, con respecto a la resistencia a flexión a menor granulometría menor disminución de la resistencia a flexión, donde los mejores resultados obtenidos corresponden al compuesto de árido fino con un porcentaje de adicción al 100%.

Palabras clave— Materiales de construcción; yeso; placas de yeso; reciclaje; propiedades mecánicas.

Abstract— The increase of construction waste derived from activities such as demolition and its recycling potential, allow a comparative analysis of different specimens and three articles in which calcined gypsum waste has been incorporated for the preparation of test tubes and plasterboard between 5% to 100% of aggregate and with sizes between 0.063mm to 4mm, the samples have been cured in conditions of room temperature and a humid chamber to determine the influence that curing conditions on their physical and mechanical characteristics. The outstanding results show the gradual decrease of the density from the highest to the smallest size, likewise the percentage of addition influences in an inverse way, with respect to the flexural strength, the lower the size of aggregate, the lower the decrease in the flexural strength, where the best result was obtained from fine aggregate with a 100% addition percentage.

Index Terms— Construction material; gypsum; plasterboard; recycle; mechanical properties.

I. INTRODUCCIÓN

EL yeso o aljez es un mineral existente en la naturaleza, conocido y utilizado desde épocas remotas; molido y cocido en hornos especiales, da lugar al yeso que se emplea en la industria de la construcción como pasta de agarre, materia prima para estucos, paneles de yeso, entre otros (Rocas y minerales, 2020). En el ranking de producción mundial de yeso 2018, España lidera la producción, consumo y el más importante exportador de yeso en Europa (Flores Medina, 2017). Sin embargo, el incremento de residuos generados por la industria de la construcción, por lo cual, el objetivo de promover políticas de reducción del consumo de materia prima

prevé sustituir los residuos de construcción como las placas de yeso para minimizar el impacto ambiental del mismo.

Por lo tanto, si se incorpora residuos provenientes de materiales aislantes, con la finalidad de incorporar propiedades térmicas y aligerar el sistema, un estudio que incorpora poliestireno, señala que cumple con los estándares actuales y tienen una densidad menor que los yesos ligeros utilizados actualmente y resistencias mecánicas similares a diferencia de los compuestos con yeso grueso (del Río Merino, 2019). Además, la incorporación de poliestireno y tragacanto es un compuesto de yeso aplicado en interiores, aislante y material de decoración, y no en exteriores (Bicer, 2017). Por otra parte, si

se incorporan residuos de poliuretano las adiciones presentan buen comportamiento mecánico, reduce su capacidad de absorción de agua y aumenta la dureza superficial; a futuro se propone investigar el cierre del ciclo de vida de estos residuos (Gutiérrez-González, 2012). Adicionalmente, al reforzar el agregado de poliuretano con fibras de polipropileno los resultados obtenidos entre la relación de peso y superficie se redujo hasta en 48%, por lo cual, la inclusión de fibras mejoró el comportamiento mecánico y el comportamiento al aumentar la temperatura, pero redujo la capacidad de retención de agua (Alameda, 2016). En contraste, la adición de fibras de polipropileno y relleno de grafito isostático reciclado indicando que, con adición del 15% de relleno de grafito isostático y 20% con fibra de polipropileno, aumenta la resistencia mecánica y la durabilidad, la densidad y el módulo ultrasónico, así mismo, la porosidad y la absorción de agua (Flores Medina, 2017).

Por otra parte, la adición de residuos de madera de construcción, son válidos como materiales de construcción, sin ningún tratamiento especial, pudiendo ser expuestos tanto en ambientes húmedos como calientes sin perder sus capacidades resistentes; sin embargo, se recomienda tratarlos para mejorar la durabilidad en salas húmedas (Pedreño Rojas, 2019). Por otra parte, la incorporación de residuo de polvo de vidrio señala que, los compuestos que contienen más del 40% de residuos de vidrio en polvo fino pueden considerarse yesos de alta dureza obteniendo como mejores resultados a los compuestos que contiene 100% de vidrio de polvo fino mejorado, dando como resultado 60% de mejor resistencia a la compresión, 40% de dureza superficial, reduce el 23% del contenido de yeso y mejora en 45% de la absorción de agua, a diferencia de los compuestos de grano grueso que mantienen constante la resistencia mecánica a pesar de aumentar la cantidad de vidrio y, por lo tanto, la densidad (Villoria, 2019).

Además, la incorporación de desecho de polvo de yeso da como resultado un yeso altamente fluido y auto-compactable incluso a una baja relación entre agua y aglutinante, sin embargo, los valores de absorción de agua no cumplían con la norma para ser utilizados en aplicaciones externas (Sophia, 2019).

Sin embargo, las pacas de yeso son materiales potencialmente reciclables dado al método de instalación. Uno de los motivos a nivel España para adoptar medidas de recuperación de residuos de construcción responde al conjunto de disposiciones de la directiva europea (2008/98/CE), la cual fija una tasa de recuperación y de demolición del 70% al 2020 (Saint Gobain, 2019). Por ello, el yeso al ser un material no inerte y no peligroso (Regueiro, 1997), para su descomposición no debería mezclarse con residuos biodegradables y dado que pocos vertederos disponen dicha clasificación de almacenamiento es negativo para su recuperación. Además, la incorporación de residuos a base de placas de yeso busca promover el compromiso con la economía circular en el sector de la construcción.

El estudio de la mezcla con yeso recuperado de placas y yeso recuperado de aplicaciones húmedas indica que, al incorporar residuos de yeso blanco recuperado de obras, con adiciones del

10%, 20% y 30%, las muestras presentaron caídas en las resistencias a compresión y flexión conforme se aumentaban las adiciones; sin embargo, no se observaron cambios sustanciales en cuanto al aumento o disminución de las resistencias con el incremento de la temperatura de secado de los residuos en el rango de 100 a 140°C, evidenciando así que la temperatura no ejerce una influencia significativa en las características físicas y mecánicas (Begliardo, 2013).

Por otra parte, si se incorpora menores adiciones a las mencionadas en el artículo (Begliardo, 2013), utilizando residuos de placas de yeso laminadas, se observa que los mejores resultados obtenidos están comprendidos por yeso grueso con adicción del 5% de residuo tratado de "Pladur laminado" de 1.25mm, obteniendo resultados muy adecuados con respecto a las características físico-mecánicas, así mismo, constituye una mejora en los elementos prefabricados; por otro lado, señala que la contribución excesiva de "finos", crea una cierta discontinuidad de tamaños que disminuye la unión entre partículas en el proceso de fraguado (Rodríguez Orejón, 2014).

Se tendrá en cuenta que la calidad de las materias primas secundarias es fundamental para promover una economía circular (Jiménez Rivero, 2017). Por lo tanto, El objetivo de otro estudio es discutir las propiedades del yeso como materia prima secundaria, así como del producto obtenido, para lo cual se obtuvieron buenos resultado y el cumplimiento de los requisitos mecánicos y físicos para placas de yeso en cuanto a densidad, absorción de agua superficial y dureza de la superficie, sin embargo, el estudio de las muestras solo se realizó en función al cumplimiento con las especificaciones EN 520 (Jiménez Rivero, 2017).

Otro estudio señala que es posible sustituir el 100% del yeso comercial con residuos de yeso de la producción industrial de placas de yeso sin ningún tratamiento de calentamiento, pero manteniendo un buen rendimiento, obteniendo como resultados, mejorar en 27% su densidad, 17% las propiedades mecánicas y 18.8% la conductividad térmica del yeso (Pedreño Rojas, 2019).

Así mismo, es factible la composición de residuos de yeso 100% reciclado para la fabricación de bloques, aunque su tiempo de aplicación (viable) sea corto, así mismo, las paredes construidas con residuos de fabricación de bloques presentaron mejor rendimiento de los requisitos estructurales establecido en NBR 15575-4 (ABNT, 2013), así como, rendimiento superior al yeso convencional. Sin embargo, no se realizaron pruebas como a la resistencia al fuego, estanqueidad y acústica que podrían reforzar la viabilidad técnica de este material en sellado vertical interno (Santana, 2019). Por lo tanto, al ser un material respetuoso con el medio ambiente, con un buen rendimiento mecánico utilizar yeso reciclado comercial obtuvo menor resistencia a la compresión, y los residuos de yeso industriales retrasan los tiempos de fraguado (Geraldo, 2018).

Si es sometido a ciclos de reciclaje, el comportamiento del yeso, comprobó la reversibilidad de las reacciones, siendo posible hidratar y calcinar el yeso a través de cinco ciclos, así mismo, los objetos resistentes a los residuos de yeso se podrían obtenerse en laboratorio, incluso con alta grado de finura,

aumento así la resistencia que se atribuye a la reducción de huecos, teniendo en cuenta que los cristales de yeso comerciales son más alargado, mientras que los de yeso reciclado son ortorrómbicos y más cortos, llenando así los vacíos. El estudio limito alcanzo resultados limites basados en la Norma brasileña ABNT NBR 13207: 1994, lo cual limito la ampliación de la investigación (Erbs, 2018).

En conclusión, el proceso de reciclaje no cambia la composición química del yeso ya que es similar al yeso comercial, sin embargo, las propiedades físicas cambian, ya que la densidad aparente disminuye, los tiempos de fraguado son más cortos debido a cambio en el tamaño del grano con el proceso de reciclaje. La limitación de la investigación fue que solo se investigó hasta el quinto ciclo de vida del yeso (Geraldo, 2017). Cabe resalta que la granulometría de residuo bajo distintos ciclos de reciclaje tuvo como resultado que los yesos obtenidos tenían características químicas similares a las de yeso comercial, incluso con diferente finura, distribución del tamaño de partícula y peso unitario (Pinheiro, 2015). Además, se está incrementando el reciclaje del cartón de yeso en un 30%, mayor a las anteriores investigaciones (Papailiopolou, 2017).

Por lo tanto, en el estudio experimental realizado en el curso de “Conocimientos avanzados e innovación en envolventes particiones y acabados del edificio” y cumpliendo con las normas técnicas españolas UNE 102.001:1986 Aljez o piedra de yeso. Clasificación. Características (AENOR, 2014), y UNE-EN 13279-1:2009 Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones (AENOR, 2009). Incorpora residuos a base de placas de yeso GLASSROC, la cual es una es una placa de yeso laminado revestida y reforzada con fibra de vidrio que mejora las resistencias a la tracción de la placa y que, junto a la ausencia de cartón, ofrecen una excelente resistencia frente a la humedad evitando también la proliferación de hongos (Saint Gobain, 2022). Dadas sus múltiples propiedades y aplicaciones se encuentra en mayor proporción de reciclaje.

En el estudio experimental se prepararon seis probetas de referencia de escayola con una relación Agua/Escayola de 0.8;

cada probeta con dimensiones de 40x40x160mm, en total 12 ya que al ser el análisis de dos etapas experimentales distintas se considerará seis probetas de referencia por adición de residuo. Se incorporó el compuesto a base de residuo de placa de yeso formato árido fino, se elaboró las probetas con 50%, 75% y 100% de residuo de PLY GLASSROC, sin embargo, vario la proporción de la dosificación con una relación agua/escayola + residuo = 1.0. cada una, con dimensiones de 40x40x160mm; de la misma manera se incorporó el compuesto a base de residuo de placa de yeso formato árido medio y grueso, bajo el mismo concepto (Santander, 2021).

II. METODOLOGÍA

Se establece una estrategia que permita determinar la relación entre las variables, es decir las propiedades observables y descubrir sus relaciones o estimar sus diferencias y semejanzas cualitativas que constituyen la investigación comparativa.

El objetivo del análisis comparativo es confrontar los resultados del estudio experimental (Santander, 2021), y los resultados de otros estudios que utilizan reciclaje de yeso en su matriz. En el estudio experimental se utilizó como residuo placa de yeso Glassroc (Santander, 2021), otro estudio caracteriza el yeso blanco y su reciclaje (Begliardo, 2013), otro estudio caracteriza al residuo de cartón yeso (Rodríguez Orejón, 2014), analizando sus resultados en probetas y de la misma forma se analizan los resultados del trabajo experimental antes mencionado con respecto a un estudio que analiza la incorporación de residuos de yeso industrial (Jiménez Rivero, 2017).

En la primera fase se caracterizan los materiales utilizados en los ensayos teniendo en cuenta la granulometría del residuo, en la siguiente fase se compararon las dosificaciones empleadas en cada estudio caracterizando las diferencias cualitativas de análisis. Finalmente, en los resultados se podrá analizar los mismos para probetas densidad, dureza, resistencia flexión y compresión; y para placas densidad, dureza, resistencia flexión y absorción de agua, con la finalidad de comparar dichas propiedades físicas en probetas y placas.

TABLA I
ESQUEMA DE MATERIALES UTILIZADOS PARA EL COMPARATIVO EN PROBETAS Y PLACAS

PROBETAS			
Escayola		Residuo	Ref.
Iberloya E-30/E35		Placa de yeso GLASSROC calcinada a 200° durante 24 horas, formato: - Árido fino (de residuo 0.063mm y 0.125mm), árido medio (de residuo 0.5mm y 0.25mm), árido grueso (de residuo 1mm y 2mm).	(Santander, 2021)
Yeso Blanco	Agua	Yeso Blanco reciclado de construcción – Argentina, formato: - Árido grueso 1,18mm, Árido medio 0,6mm, Árido fino 0,15mm.	(Begliardo, 2013)
Iberplas tipo TG de yeso grueso		Cartón yeso triturado y quemado (BLG) calcinado a 230° durante 24 horas, formato: - Árido grueso de 1.25mm, Árido medio de 0.32mm.	(Rodríguez Orejón, 2014)
PLACAS			
Escayola		Residuo	Ref.
Iberloya E-30/E35	Agua	Placa de yeso GLASSROC calcinada a 200° durante 24 horas, formato: - Árido fino (de residuo 0.063mm y 0.125mm), árido medio (de residuo 0.5mm y 0.25mm), árido grueso (de residuo 1mm y 2mm).	(Santander, 2021)
Yeso Natural (FGD)		Yeso (BAU y RG) pre- consumo reciclado - Árido grueso (< 4mm).	(Jiménez Rivero, 2017)

TABLA II
ESQUEMA DE MATERIALES UTILIZADOS PARA EL COMPARATIVO EN PROBETAS Y PLACAS

Ref.	Granulometría	Tipo de Ensayo	Material	Dosificación (gr)			
(Santander, 2021)	0.063mm y 0.125mm	Densidad, Dureza, Res. a Flexión y a Compresión.	Escayola	800	800	800	700
			Agua	640	1400	1400	1400
			Residuo	0%	50%	75%	100%
	0.5mm y 0.25mm	Densidad, Dureza, Res. a Flexión y a Compresión.	Escayola	800	800	800	600
			Agua	640	1200	1400	1200
			Residuo	0%	50%	75%	100%
	1mm y 2mm	Densidad, Dureza, Res. a Flexión y a Compresión.	Escayola	800	800	700	800
			Agua	640	1200	1225	1600
			Residuo	0%	50%	75%	100%
(Begliardo, 2013)	1,18mm, 0,6mm y 0,15mm	Densidad, Res. a Flexión y Res. a Compresión.	Escayola	a/y = 60%	a/y = 69,5%	a/y = 69,5%	a/y = 69,
			Agua				
			Residuo	0%	10%	20%	30%
(Rodríguez Orejón, 2014)	1,25mm	Dureza, Res. a Flexión y Res. a Compresión.	Escayola	0.69 w/p	0.7 w/p	0.66 w/p	0.69 w/p
			Agua				
			Residuo	0%	5%	6%	7%
	0,32mm	Dureza, Res. a Flexión y Res. a Compresión.	Escayola	0.69 w/p	0.66 w/p	0.64 w/p	0.66 w/p
			Agua				
			Residuo	0%	5%	6%	7%

A. Materiales

La primera fase busca caracterizar los materiales utilizados en cada estudio, se tendrá en cuenta que la escayola en sus diferentes presentaciones se distingue en su uso y características técnicas. Por lo tanto, en los estudios descritos en la Tabla 1, la iberyola se caracteriza por su finura y su uso en elementos prefabricados; además, el yeso blanco o natural se aplica como pasta para guarnecidos, enlucidos y revoques y el yeso iberplas se caracteriza por su granulometría más gruesa y por tanto fraguado más rápido.

Así mismo, los residuos utilizados a base de yeso, también son distintos, y se diferencian por sus características y aplicaciones, por ejemplo, la placa de yeso laminado Glassroc (Santander, 2021), en su composición se encuentra reforzada y revestida con fibra de vidrio y no requiere de cartón, se caracteriza por su buena resistencia a la humedad y resistencia a tracción; sin embargo, en otro estudio que incorpora residuo de cartón yeso triturado y quemado (BLG) (Rodríguez Orejón,

2014), el cual se utiliza como partición interna pero no es recomendable para zonas húmedas como en el residuo anterior; por otra parte, otro estudio utiliza residuo de yeso blanco natural o blanco (Begliardo, 2013), lo cual también permitirá observar mediante el análisis de resultados, que residuo proporciona valores favorables para su reciclaje en placas de yeso. Finalmente, el yeso (BAU y RG) que se caracteriza por su procedencia industrial (Jiménez Rivero, 2017).

B. Dosificaciones

La segunda fase busca comparar las granulometrías y las dosificaciones empleadas en los estudios seleccionados. Es así que la relación agua/escayola utilizada en el estudio experimental (Santander, 2021), para la probeta de referencia es de 0.8, y cuando se incorporó los porcentajes de adición (50%, 75% y 100%) de residuo de PYL GLASSROC, vario la proporción de la dosificación con una relación agua/escayola + residuo = 1.0 (Santander, 2021), bajo las granulometrías fina, media y gruesa. De la misma manera, se analizó adiciones de

TABLA III
ESQUEMA DE MATERIALES UTILIZADOS PARA EL COMPARATIVO EN PROBETAS Y PLACAS

Ref.	Granulometría	Tipo de Ensayo	Material	Dosificación (gr)	
(Santander, 2021)	0.063mm y 0.125mm	Densidad, Dureza, Res. a Flexión y Absorción.	Escayola	1900	1000
			Agua	1520	2000
			Residuo	0%	100%
	0.5mm y 0.25mm	Densidad, Dureza, Res. a Flexión y Absorción.	Escayola	1900	1200
			Agua	1520	1800
			Residuo	0%	75%
	1mm y 2mm	Densidad, Dureza, Res. a Flexión y Absorción.	Escayola	1900	1300
			Agua	1520	1950
			Residuo	0%	50%
(Jiménez Rivero, 2017)	< 4mm	Densidad, Dureza, Res. a Flexión y Absorción.	Escayola		
			Agua	0.66 w/p	0.66 w/p
			Residuo	5% - 15%	17% - 28%

árido grueso medio y fino permite comparar bajo las adiciones de 10%, 20% y 30% de residuo (Begliardo, 2013). Y finalmente, se analizó la adición de residuos fue de grueso y fino con porcentajes de 5%, 6% y 7% (Rodríguez Orejón, 2014). Como se observa en la Tabla 2.

Teniendo en cuenta los resultados de las probetas en el estudio, se caracterizaron placas con los resultados de adición que presentaron mejores resultados, es decir para granulometría fina la dosificación de residuo fue al 100%, para granulometría media la dosificación de residuo fue al 75% y para granulometría gruesa fue al 50%, con una relación A/E: 1, y con dimensiones de placa 40x20x1.5 cm, donde la cuarta placa elaborada se le incorpora papel cartón en ambas caras (Santander, 2021).

Así mismo, se analizó la adición de residuos procedentes de placas industriales cuyos áridos de reciclaje están mezclados entre áridos finos medios y gruesos, ya que se clasifico según el tipo de placa de yeso a reciclar la primera denominada BAU y la segunda RG, con porcentajes de adición de 5% a 15% y 17% a 28% respectivamente (Jiménez Rivero, 2017). Como se observa en la Tabla 3.

Finalmente, la tercera fase comparativa analiza los resultados obtenidos en los ensayos descritos en la Tabla 2 para probetas y en la Tabla 3 para placas.

III. RESULTADOS

La Tabla 4 presenta un resumen de los diversos ensayos físico-mecánicos analizados en probetas y en placas de yeso. Cabe destacar que en probetas se analizan los resultados de tres estudios experimentales y dos artículos científicos, y en placas se comparan resultados obtenidos de tres estudios experimentales y un artículo. Los resultados se compararán para evaluar cual formato y porcentaje de residuos presenta las mejores características tanto mecánicas como físicas.

A. Discusión de los resultados en probetas

En los estudios experimentales (Santander, 2021), el cual empleo tres granulometrías: fina (0,063mm y 0,125mm), media (0,5mm y 0,25mm) y gruesa (1mm y 2mm) con 24 probetas analizadas, se comparó los resultados con el artículo (Begliardo, 2013), se realizaron 8 probetas con granulometrías de 1,18mm + 0,6mm + 0,15mm; y con el artículo (Rodríguez

FTA	F/M/G/A = Tipo de árido empleado Fino, Medio, Grueso, Artículo.
75 %	TA/CH = Ambiente de secado de probeta: Temperatura Ambiente/Cámara Húmeda.
GCH	
50%	5%,6%,7%10%,20%,50%;75%;100% = Porcentaje de adición de residuo calcinado de yeso.

Orejón, 2014), con la misma cantidad de probetas que el artículo anterior bajo granulometrías de 0,32mm y 1,25mm. Los ensayos que analizar son densidad, dureza, resistencia a flexión y compresión, donde se detallan los resultados obtenidos en porcentajes tomando como 100% el resultado obtenido por las probetas de referencia las cuales no poseen residuos de yeso reciclado.

Para facilitar la identificación de las distintas dosificaciones de las probetas analizadas se ha propuesto la siguiente

nomenclatura que se empleará en las Fig. 1- 8 que se presentan a continuación.

Con respecto a los resultados de densidad, en la Fig. 1 se observa que, las probetas secadas a temperatura ambiente presentaron mayor densidad, casi similar a las de referencia, respecto al porcentaje de residuos las probetas con el 100%, 10%, 20% y 30% a temperatura ambiente presentaron la mayor densidad, mientras que las probetas con adiciones de 75% y 100% secadas a cámara húmeda presentaron densidades más bajas. De este modo podemos observar que el tipo de secado de las probetas influye directamente sobre su densidad. Además, se tendrá en cuenta que en ningún caso se superó la densidad con respecto a la referencia.

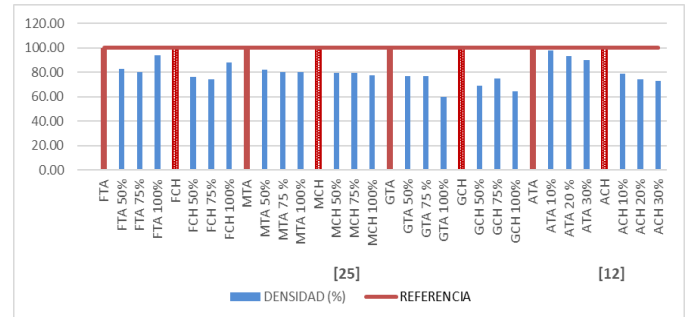


Fig. 1. Resultado de ensayos de densidad de probetas.

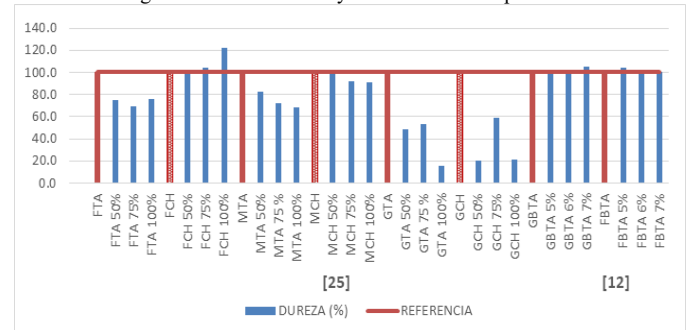


Fig. 2. Resultado de ensayos de dureza Shore C de probetas.

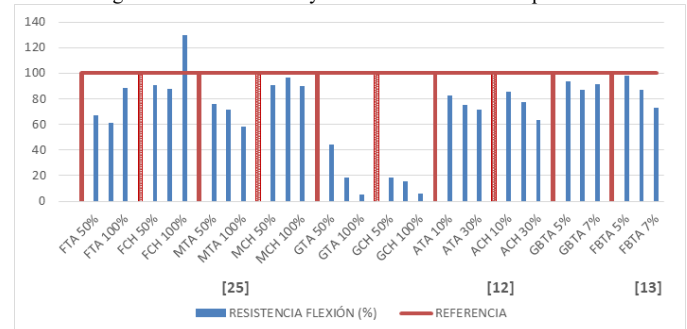


Fig. 3. Resultado de ensayos de resistencia a flexión de probetas.

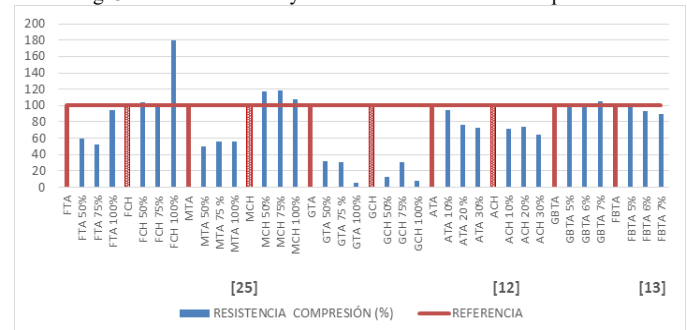


Fig. 4. Resultado de ensayos de resistencia a compresión de probetas

Así mismo, los resultados de dureza, en la Fig. 2 podemos observar que el mejor resultado se ha obtenido con la probeta con adición del 100% y secada en cámara húmeda, las probetas secadas en ambiente húmedo han presentado una dureza mayor que las de temperatura ambiente, las adiciones del 5%, 6%, 7% presentan una dureza muy similar a la de referencia, conforme se aumenta el residuo al 50% y 75% la dureza disminuye y al aumentar el residuo al 100% observamos en los resultados que la dureza aumenta un 20% en relación con la probeta de referencia.

Por otra parte, los resultados de resistencia a flexión obtenidos de la Fig. 3, observamos que las probetas secadas en cámara húmeda presentan la mayor resistencia en relación a las secadas en temperatura ambiente, la probeta con el 100% de residuo y secada en cámara húmeda es la que ha presentado el mejor resultado con 29% mayor resistencia que la probeta de referencia, además la granulometría del residuo también afecta directamente la resistencia ya que las probetas con granulometrías superiores al 1,5mm se produjo un descenso de hasta el 94% en su resistencia a flexión.

Finalmente, los resultados obtenidos de resistencia a compresión obtenidos de la Fig. 4, señalan que los residuos con granulometría media y fina han presentado los mejores resultados a compresión, al igual que lo que se observó en las pruebas a flexión, el tipo de secado influye en la resistencia obtenida, en las adiciones del 5%,6% y 7% los resultados se mantienen similares a la de referencia en las de 75% y 100% llegan a superar la resistencia de la probeta de referencia.

B. Comparativo de resultados en probetas.

A continuación, se realiza un análisis comparativo de los resultados obtenidos en los ensayos a densidad, dureza, resistencia a flexión y compresión, para poder evaluar las

variaciones y comportamiento de sus características mecánicas y físicas, así como determinar la influencia que ejerce el porcentaje de residuo adicionado en las muestras.

Al comparar los datos de densidad vs dureza podemos observar en la Fig. 5 que las muestras con residuo de árido fino y medio muestran un comportamiento similar en el aumento y disminución de sus resultados, pero en las muestras de árido grueso existe una mayor brecha entre los resultados, la probeta que ha mostrado un mejor comportamiento es la FCH 100%, la granulometría y secado en cámara húmeda influyen en su comportamiento, por tal razón esta presenta los mejores resultados.

Así mismo, si se compara densidad vs resistencia a flexión, como se observa en la Fig. 6. de los resultados en probetas se observa que en las muestras secadas a temperatura ambiente la densidad es superior a la resistencia a flexión y en las muestras secadas en cámara húmeda la resistencia a flexión es superior a la densidad de las muestras, a excepción de las muestras de árido grueso en donde la flexión es menor que la densidad en todas las muestras, en ninguno de los casos las muestras superan la densidad de la probeta de referencia, únicamente la muestra FCH 100% ha superado la resistencia a flexión de la muestra de referencia.

Por otra parte, si se compara densidad vs resistencia a compresión, las probetas secadas en temperatura ambiente poseen mayor densidad que resistencia a compresión y las muestras secadas en cámara húmeda la resistencia a compresión es superior a la densidad de las probetas, sin embargo, esto no se presenta en las muestras con granulometría gruesa ya que en todos los casos la densidad es superior a la flexión hasta con un 50% de diferencia a pesar de notarse una leve mejora de resultados en las muestras con el 75% de residuo, como se puede observar en la Fig. 7.

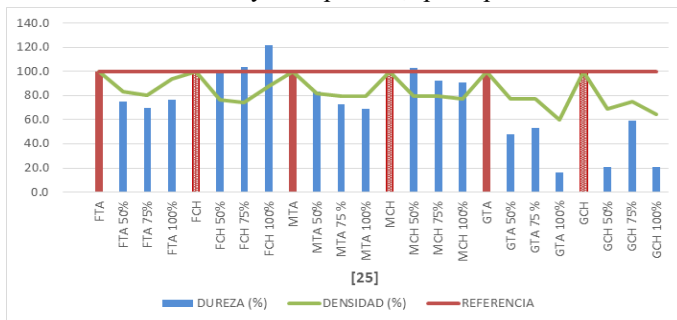


Fig. 5. Relación entre los resultados de ensayos a densidad y dureza en probetas.

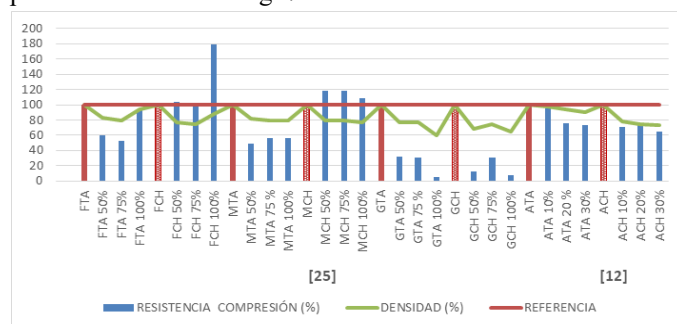


Fig. 7. Relación entre los resultados de ensayos a densidad y resistencia a compresión en probetas.

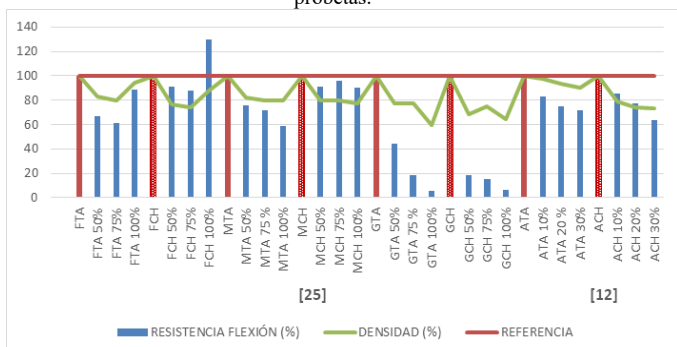


Fig. 6. Relación entre los resultados de ensayos a densidad y resistencia a flexión en probetas.

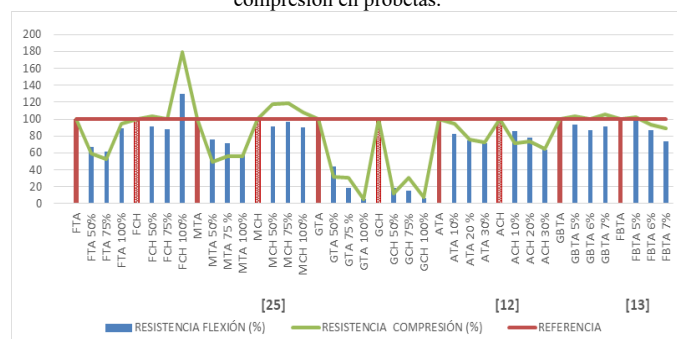


Fig. 8. Relación entre los resultados de ensayos de resistencia a flexión y compresión en probetas.

P_FTA 100% +P
P_MTA 75% #P+1CR
P_GTA 50% +P+1CR

P= Placa. EN520= Placa Referencia según Normativa.
F/M/G/BA/RG = Tipo de árido empleado Fino, Medio, Grueso, Artículo (BA y RG).
TA/CH= Ambiente de secado de probeta: Temperatura Ambiente/Cámara Húmeda.
+P/#P= Con papel y sin papel. +1CR= Con un ciclo de reciclaje.

En contraste, si se compara resistencia a flexión vs resistencia a compresión, en la Fig. 8 se comprueba un patrón similar en todas las muestras, la resistencia a flexión y compresión muestran resultados semejantes, ya que a mayor resistencia a flexión mayor a compresión y viceversa, únicamente la muestra FCH 100% posee una resistencia a compresión superior a la resistencia a flexión en un 45%, las muestras que han registrado una menor variación de sus resultados respecto a las probetas de referencia son aquella con un agregado de residuo del 5%, 6%, 7% y 100%.

C. Discusión de los resultados en placas.

Una vez concluida la fase de estudios comparativo de probetas, teniendo en cuenta que en el estudio experimental se seleccionó las mejores dosificaciones (Santander, 2021), se realiza la comparativa con los resultados observados en el artículo (Jiménez Rivero, 2017). La comparativa analiza las propiedades físicas, mediante las pruebas de impacto superficial, densidad, resistencia a flexión y absorción de agua de cada una de las placas como se observa en los siguientes apartados.

Para facilitar la identificación de las distintas dosificaciones de las placas analizadas se ha propuesto la nomenclatura situada al comienzo de esta página que se empleará en las Fig. 9-15.

Los resultados en densidad con respecto al estudio

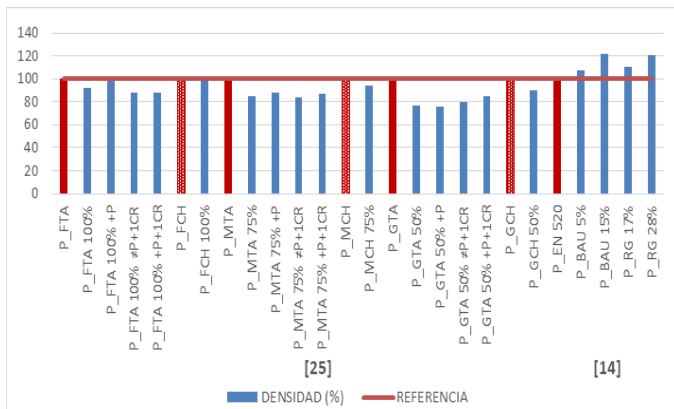


Fig. 9. Resultados de densidad en placas.

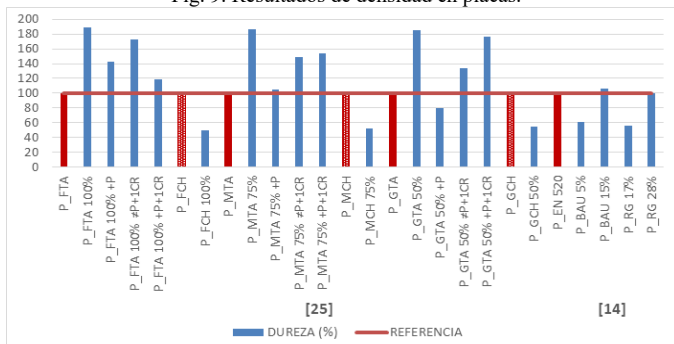


Fig. 10. Resultados de impacto superficial en placas.

experimental (Santander, 2021), permite observar que a menor granulometría del residuo con la mayor adicción es el mejor resultado obtenido, así mismo dado que el artículo (Jiménez Rivero, 2017), toma como referencia la Norma europea EN 520: 2005 + A1: 2010 (AENOR, 2014), y que la diferencia es la base del material, es decir, en el estudio experimental se utilizó yeso comercial en cambio en el artículo se utilizó residuo de yeso industrial en un bajo porcentaje, se observa en la Fig. 9.

Con respecto a los resultados analizados en función a la dureza del material cada porcentaje de adición de residuo bajo distinta granulometría permite observar que el mejor resultado obtenido a nivel de placa con adición de un residuo es de árido Fino ya que supera la placa de referencia en aproximadamente 85%, como se puede observar en la Fig. 10.

Bajo el mismo análisis se puede observar que las placas cuyo porcentaje de residuo es menor, obtuvieron mejor resultado a flexión, sin embargo, la placa en el análisis experimental (Santander, 2021) que obtiene mejor resultado es la de residuo de árido Fino, como se observa en la Fig. 11.

En cuanto a la absorción de agua, el comparativo indica que a mayor porcentaje de adición de residuo mayor la capacidad de absorción de la placa, bajo dicha premisa la placa con el indicador mayor es la resultante de la adición de Árido Fino, como se observa en la Fig. 12.

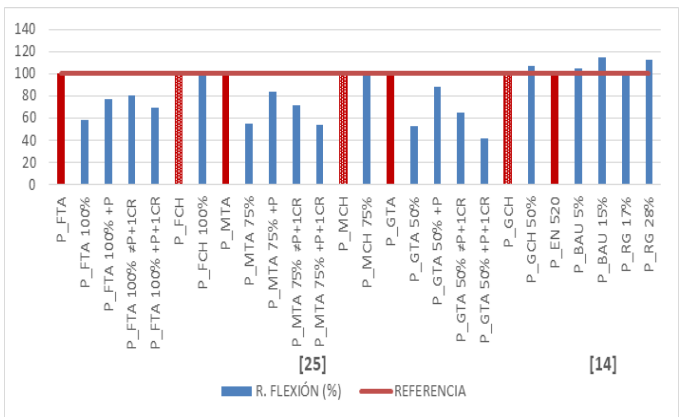


Fig. 11. Relación entre los resultados de ensayos a densidad y resistencia a compresión en probetas.

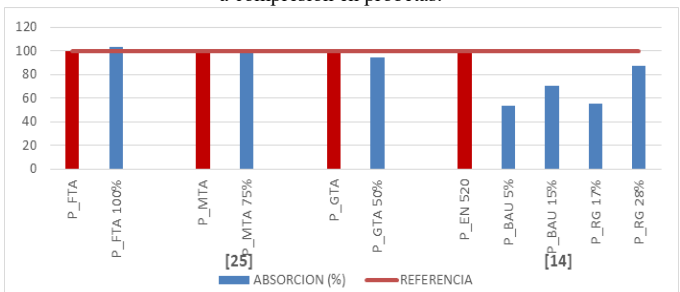


Fig. 12. Relación entre los resultados de ensayos de resistencia a flexión y compresión en probetas.

D. Comparativo de resultados en placas

En el análisis comparativo de los resultados anteriores obtenidos en placas, para lo cual cotejaremos la densidad vs impacto superficial, densidad vs resistencia a flexión y densidad vs absorción, busca evaluar las variaciones y comportamiento de sus características mecánicas y físicas.

Por lo tanto, al comparar densidad vs impacto superficial, las placas que se secaron a temperatura ambiente presentan mayor dureza que las secadas en cámara húmeda, además la placa que presento mejor comportamiento según el comparativo fue la de residuo con árido fino, con una adición al 100% de residuo, además, se puede observar que el tipo de residuo es determinante, como se puede observar en la Fig. 13.

Por otra parte, al comparar densidad vs resistencia a flexión, las placas cuyas adiciones de residuo son menores al 28% de adición presentan mejor comportamiento a flexión despreciando la granulometría de adición, según lo analizado en el artículo (Jiménez Rivero, 2017), sin embargo, cuando la adición se clasifica según granulometría, el residuo formato árido fino presenta mayor resistencia respecto a los otros dos formatos. Si se incorpora papel cartón a la placa se duplica la resistencia en flexión (árido grueso), mientras que con árido

fino y medio incrementa en menor porcentaje. Las placas con árido fino disminuyeron su resistencia a temperatura ambiente, al contrario que las de árido medio y grueso, como se observa en la Fig. 14.

Finalmente, al comparar densidad vs absorción, las placas del estudio experimental (Santander, 2021) absorben más humedad, especialmente si la granulometría es menor, también por lo cual, el árido fino aumenta su absorción agua en base a la referencia en 29 gr., mientras que las placas con mayor granulometría disminuyen su capacidad de absorción, absorbiendo 45 gr. menos que la referencia, como se observa en la Fig. 15.

IV. CONCLUSIONES

A. Conclusiones del análisis de resultados de probetas

Al analizar los resultados obtenidos en probetas hemos determinado tres factores que han influido directamente en los resultados de los ensayos, el primero es el tipo de secado al que son sometidas las muestras, se puede apreciar tanto en los resultados de densidad, dureza, resistencia a flexión y compresión, que las probetas secadas en cámara humedad han presentado mejores resultados en algunos casos superando a las probetas de referencia, como es el caso de la probeta FCH 100% que ha aumentado en un 45% a la probeta de referencia en el ensayo de flexión.

Otro parámetro es la granulometría del residuo empleado las muestras con árido fino y medio han presentado mejores resultados en relación con las muestras de árido grueso (igual o superior a 1.5mm) en donde las resistencias descendieron hasta un 94%.

El porcentaje de adición también ha influido en los resultados en adiciones del 5%, 6%, 7% no se han presentado variaciones al 100% en los resultados respecto a sus probetas de referencia, existe una tendencia presente en casi la totalidad de las muestras que al aumentar el residuo al 50% y 75%, están han disminuido sus resistencias a flexión y compresión, pero en las muestras con un 100% de residuo han presentado resultados superiores como en el caso de la probeta FCH 100% en el ensayo a compresión aumentando en 80% y a flexión aumento el 45% de su resistencia.

Por lo cual, los factores como la granulometría, el tipo de secado y el porcentaje de adición y el tipo de residuo, son elementos importantes para realizar ciclos de vida de residuos de yeso, se sugiere seguir haciendo ensayos con las características de la probeta FCH 100% ya que esta ha sido la que presento mejores resultados.

B. Conclusiones del análisis de resultados de placas

Con respecto a los resultados obtenidos en el estudio experimental (Santander, 2021) de placas, se puede observar que la densidad disminuye gradualmente desde la granulometría mayor a la menor, así mismo influye de forma inversa el porcentaje de adición, por lo cual, a menor granulometría con mayor porcentaje de residuo mejores resultado se obtienen con respecto a la dureza de la placa y la densidad, además se debe concluir que la diferencia de ambas

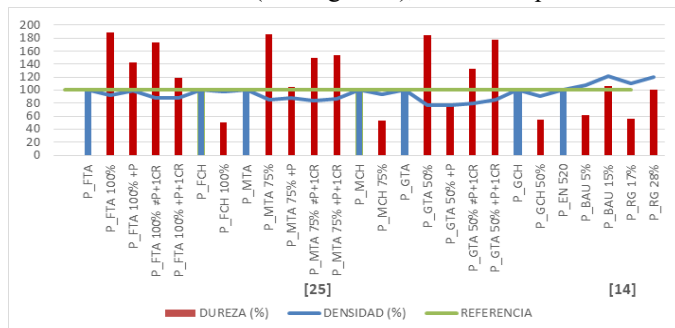


Fig. 13. Relación entre los resultados de densidad vs impacto superficial en placas.

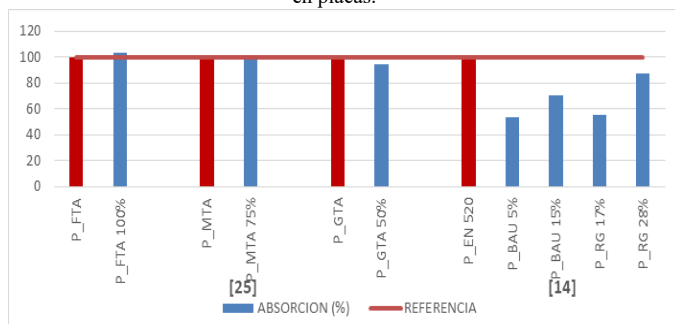


Fig. 14. Relación entre los resultados de ensayos de resistencia a flexión y compresión en probetas.

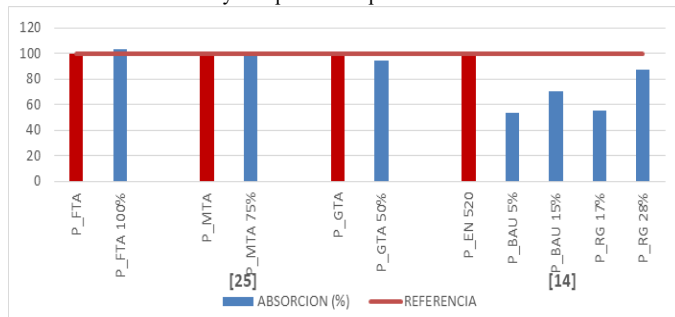


Fig. 15. Relación entre los resultados de ensayos de resistencia a flexión y compresión en probetas.

pruebas radica en que si bien la densidad disminuyó la dureza alcanzó hasta 185% de dureza, como es el caso del compuesto por árido fino, también se observa que si se le incorpora papel cartón a la placa incrementa la dureza superficial.

Los resultados obtenidos del análisis de resistencia a flexión ejercida en placas, en principio indica que, a menor cantidad de adición de residuos, despreciando la granulometría del formato, mayor la resistencia a flexión de las placas, también podría deberse al tipo de residuo de origen industrial (Jiménez Rivero, 2017). Además, se puede concluir que en el estudio experimental (Santander, 2021), si bien la resistencia a flexión disminuye en los tres áridos, se puede observar que esta disminución está directamente relacionada con el tipo de secado las placas secas en cámara húmeda presentaron menor resistencia a flexión que las secadas a temperatura ambiente, sin embargo, aún están dentro de los rangos aceptables para su aplicación en la construcción; también se debe reconocer que los valores mejoran si se le incorpora el papel cartón en ambas caras.

En el caso del resultado obtenido por absorción, se observa que incremento su capacidad de absorción conforme se incorpora compuestos de reciclaje en las placas con árido fino, mientras que en las de árido medio y grueso presenta menor capacidad de absorción, seguramente relacionado con que estas placas tienen una adición del 50% de residuo vs las placas de árido fino que poseen el 100% lo cual hace que estén presentes una mayor absorción de agua al analizarlas; por otro lado las analizadas en el artículo (Jiménez Rivero, 2017), se observa que la absorción es menor, uno de los factores puede deberse a la granulometría de adición y al origen del residuo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el aporte y asesoría para la realización del estudio experimental de Paola Villoria Sáez en el curso de Conocimientos avanzados e innovación en envoltentes particiones y acabados del edificio, así como la contribución de los resultados obtenidos con la incorporación de árido medio y grueso del trabajo experimental referenciado y la asesoría de María Isabel Prieto Barrio en el desarrollo del trabajo.

REFERENCES

AENOR, "Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo. UNE-EN 13279-2:2014." Madrid: AENOR: 2014.

AENOR, "Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones. UNE-EN 13279-1: 2009." Madrid: AENOR: 2009.

L. Alameda, V. Claderón and C. Junco, "Characterization of gypsum plasterboard with polyurethane foam waste reinforced with polypropylene fibers," *Materiales De Construcción*, 2016. vol. 66, no. 324, pp. 100, DOI: 10.3989/mc.2016.06015. [Online]. Available: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/2036>.

H. Begliardo, M. SÁnchez, M.C. Panigatti and S. Garrappa,

"Reutilización de yeso recuperado de construcciones: un estudio basado en requisitos de aptitud de normas argentinas y chilenas," *Revista de la construcción*, 2013. vol. 12, no. 3, pp. 27-35, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2013000300003>.

A. Bicer and F. Kar, "Thermal and mechanical properties of gypsum plaster mixed with expanded polystyrene and tragacanth," *Thermal Science and Engineering Progress*, 2017. vol. 1, pp. 59-65, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2017.02.008>. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451904917300082>.

A. Erbs, A. Nagalli, K. Querne de Carvalho, V. Mymrin, F.H. Passig and W. Mazer, "Properties of recycled gypsum from gypsum plasterboards and commercial gypsum throughout recycling cycles," *J. Clean. Prod.*, 2018. vol. 183, pp. 1314-1322, DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.189. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618305080>.

N. Flores Medina and M.M. Barbero-Barrera, "Mechanical and physical enhancement of gypsum composites through a synergetic work of polypropylene fiber and recycled isostatic graphite filler," *Constr. Build. Mater.*, 2017. vol. 131, pp. 165-177, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.073>. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816318335>.

R.H. Geraldo, S.M.M. Pinheiro, J.S. Silva, H.M.C. Andrade, J. Dweck, J.P. Gonçalves and G. Camarini, "Gypsum plaster waste recycling: A potential environmental and industrial solution," *J. Clean. Prod.*, 2017. vol. 164, pp. 288-300, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.188>. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617313586>.

R.H. Geraldo, J.D. Souza, S.C. Campos, L.F.R. Fernandes and G. Camarini, "Pressured recycled gypsum plaster and wastes: Characteristics of eco-friendly building components," *Constr. Build. Mater.*, 2018. vol. 191, pp. 136-144, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.09.193. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818323778>.

S. Gutiérrez-González, J. Gadea, A. Rodríguez, C. Junco and V. Calderón, "Lightweight plaster materials with enhanced thermal properties made with polyurethane foam wastes," *Constr. Build. Mater.*, 2012. vol. 28, no. 1, pp. 653-658, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.055>. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061811006040>.

A. Jiménez Rivero and J. Navarro, "Characterization of quality recycled gypsum and plasterboard with maximized recycled content," *Materiales de Construcción*, 2017. vol. 67, pp.

- 137, DOI: 10.3989/mc.2017.06016.
- N. Papailiopoulos, H. Grigoropoulos and M. Founti, "Energy Analysis of the Effects of High-Level Reincorporation of Post-consumer Recycled Gypsum in Plasterboard Manufacturing," *Waste and Biomass Valorization*, 2017. vol. 8, no. 5, pp. 1829-1839, DOI: 10.1007/s12649-016-9750-7. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9750-7>.
- M. Pedreño-Rojas, M. Conde, P. Rubio-de-Hita and F. Pérez-Gálvez, "Impact of Wetting-Drying Cycles on the Mechanical Properties and Microstructure of Wood Waste-Gypsum Composites," *Materials (Basel, Switzerland)*, 2019. vol. 12 DOI: 10.3390/ma12111829.
- M.A. Pedreño-Rojas, I. Flores-Colen, J. De Brito and C. Rodríguez-Liñán, "Influence of the heating process on the use of gypsum wastes in plasters: Mechanical, thermal and environmental analysis," *J. Clean. Prod.*, 2019. vol. 215, pp. 444-457, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.053>. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619300617>.
- S. Pinheiro and G. Camarini, "Characteristics of gypsum recycling in different cycles," *International Journal of Engineering and Technology*, 2015. vol. 7, pp. 215-218, DOI: 10.7763/IJET.2015.V7.794.
- Placo Saint-Gobain, "Glasroc® X," <https://www.placo.es/products/placa-zonas-humedas/glasroc-x> (accessed May, 2020).
- Placo Saint-Gobain, "¿Por qué reciclar los residuos de placa de yeso laminado?" <https://www.placo.es/sostenibilidad/reciclaje-de-placa-yeso-laminado/por-que-reciclar-los-residuos-de-placa-de-yeso-laminado> (accessed May, 2020).
- M. Regueiro y González-Barros and J.P. Calvo, "El yeso. Geología y yacimientos en España," *Bol.Soc.Esp.Ceram.V*, 1997. vol. 36, pp. 563-569.
- M. Del Río Merino, P. Villoria Sáez, I. Longobardi, J. Santa Cruz Astorqui and C. Porrás-Amores, "Redesigning lightweight gypsum with mixes of polystyrene waste from construction and demolition waste," *J.Clean.Prod.*, 2019. vol. 220, pp. 144-151, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.132>. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619305219>.
- A. Rodríguez-Orejón, M. del Río Merino and F. Fernández Martínez, "Characterization mixtures of thick gypsum with addition of treated waste from laminated plasterboards," *Materiales de Construcción*, 2014. vol. 64, pp. e018, DOI: 10.3989/mc.2014.03413.
- Rocas y Minerales, "Yeso,". [Online]. Available: <https://www.rocasyminales.net/yeso/>. (accessed May, 2020).
- C. Santana, Y. Povoas and D. Silva, "Recycled gypsum block: development and performance," *Ambiente Construido*, 2019. vol. 19, pp. 45, DOI: 10.1590/s1678-86212019000200307. [Online]. Available: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212019000200045&nrm=iso.
- Santander Alejandra, Castillo Anabel, Gomez Edmundo, and Russi Juan, "Reciclaje de residuos de yeso calcinado glasroc,". Polytechnic University of Madrid.
- M. Sophia and N. Sakthieswaran, "Waste shell powders as valuable bio- filler in gypsum plaster – Efficient waste management technique by effective utilization," *J.Clean.Prod.*, 2019. vol. 220, pp. 74-86, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.119>. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619305086>.
- P. Villoria and M. Del Río, "Viability of Gypsum Composites with Addition of Glass Waste for Applications in Construction," *J. Mater. Civ. Eng*, 2019. vol. 31, no. 3, pp. 04018403, DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002604. [Online]. Available: <https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0002604>.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.