

# RESIDUOS PLÁSTICOS DE CABLES ADICIONADOS EN UNA MATRIZ DE ESCAYOLA

<sup>1</sup>Vidales Barriguete, Alejandra; <sup>2</sup>Atanes Sánchez, Evangelina; <sup>3</sup>del Río Merino, Mercedes; <sup>3</sup>Piña Ramírez, Carolina; <sup>4</sup>Kosior-Kazberuk, Marta;

(1) *Departamento de Tecnología de la Edificación, Escuela Técnica Superior de Edificación, UPM alejandra.vidales@upm.es*

(2) *Departamento de Ingeniería Mecánica, Química y Diseño industrial, Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial, UPM.*

(3) *Departamento de Construcciones Arquitectónicas y su Control, Escuela Técnica Superior de Edificación, UPM.*

(4) *Department of Building Structures and Architecture, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Bialystok University of Technology.*

## PLASTIC WASTE OF CABLES ADDED IN A PLASTER MATRIX

<b>Abstract</b>	<b>Resumen</b>
<p><i>The objective of this work is to analyze the possibilities of reusing plastic waste of cables added in a plaster matrix.</i></p> <p><i>Firstly, the experimental process has allowed the physicochemical characterization of the raw material, plaster and plastic waste, consisting in elemental analysis, XRD and thermogravimetric analysis; Secondly, the performance of physicomechanical tests of the mixtures, Shore C hardness, absorption and resistance to flexion and compression.</i></p> <p><i>During the investigation, the water/plaster ratio of 0.8 was maintained, as well as the grain size of the plastic waste as it comes from the recycling factory (maximum 3 mm). On the contrary, the amount of added plastic waste has oscillated up to incorporate 50%, 60% and 70% over the weight of the plaster.</i></p> <p><i>In comparison to a reference sample, the obtained compounds are characterized by having a higher Shore C hardness, a lower absorption by capillarity and a decrease in their values of mechanical resistance.</i></p> <p><i>The addition of plastic waste to a plaster matrix can be considered as a possibility to obtain compounds of greater sustainability to be used in the field of sustainable construction.</i></p> <p><b>Key words:</b> <i>Plastic Waste, Gypsum, Sustainable Construction, Recycling.</i></p>	<p><i>El objetivo de este trabajo se centra en analizar las posibilidades de reutilización del residuo plástico de cables (granza), adicionado en una matriz de escayola.</i></p> <p><i>El proceso experimental llevado a cabo ha permitido, en primer lugar, la caracterización fisicoquímica de la materia prima, esto es escayola y residuo plástico, consistentes en análisis elemental, DRX y análisis termogravimétrico; en segundo lugar, la realización de ensayos físicos mecánicos de los compuestos obtenidos, dureza Shore C, absorción y resistencias a flexión y compresión.</i></p> <p><i>Durante el estudio se ha mantenido la relación agua/escayola de 0,8 así como la granulometría del residuo plástico tal y como procede de la planta de reciclaje (máximo 3 mm), por el contrario, la cantidad de granza adicionada se ha variado hasta llegar a incorporar 50%, 60% y 70% sobre el peso de la escayola.</i></p> <p><i>Los compuestos obtenidos tienen como característica, respecto a una muestra de referencia, una mayor dureza Shore C, una menor absorción por capilaridad y, una disminución en sus valores de resistencias mecánicas.</i></p> <p><i>La adición de estos residuos en matrices de escayola se puede considerar como una posibilidad con la que conseguir compuestos de mayor sostenibilidad con los que aportar en el campo de la construcción sostenible.</i></p> <p><b>Palabras clave:</b> <i>Residuos Plásticos, Yeso, Construcción Sostenible, Reciclaje.</i></p>

## 1. INTRODUCCIÓN

Son numerosos los estudios realizados sobre la incorporación de residuos como adición o sustitución en materiales de construcción “tradicionales”, que muestran verdaderas oportunidades de contribuir a un desarrollo sostenible.

Con la entrada en vigor de la actual Directiva Marco de Residuos 2008/98/CE se modifica el planteamiento de la gestión de residuos en Europa, priorizando la prevención y reutilización, frente a la eliminación y valorización de los mismos [1]. En el ámbito de la edificación, gestionar esto supone incorporar un nuevo paradigma orientado hacia el medioambiente [2], es decir, una evolución en la gestión de los recursos basada en el estudio integral del “ciclo de vida” [3] y en la reincorporación de los residuos al mercado siguiendo un modelo de “economía circular” (cradle to cradle).

Se estima que, aproximadamente el 35% de los residuos generados en Europa, proceden del sector de la construcción (RCD) [4] y, aunque es cierto que la tendencia en los últimos años ha sido decreciente debido fundamentalmente a la fuerte crisis que persiste, por ello es necesario encontrar nuevas formas de reutilización y/o reciclaje de estos desechos [5]. Uno de los RCD más abundante y, a la vez complicado en su proceso de reciclaje, es el plástico. Según los indicadores de la asociación de fabricantes de plásticos europeos Plasticseurope, más de un 20% del plástico fabricado se destina al sector de la construcción, esto supone unos 10 millones de Toneladas al año que finalmente llegarán a ser RCD [6].

Los plásticos son sustancias químicas denominadas polímeros que ofrecen muchas ventajas como la variedad, la durabilidad o la lenta degradación y, presentan como desventaja, su compleja fase de reciclado. Durante años, los desechos plásticos han sido enviados a vertedero junto con el resto de RCD pero esta alternativa ha comenzado a ser cada vez menos viable debido a la disminución de áreas disponibles y del coste que genera [7]. Es cierto que en la actualidad existen numerosos métodos y técnicas para el reciclado de plásticos, mecánicos (cuando se conoce la formulación del material) y químicos (basados en la descomposición del material en monómeros con los que comenzar un nuevo proceso de polimerización) pero, generalmente, la falta de homogeneidad, es decir, la presencia de materiales termoplásticos y termoestables mezclados, da lugar a fases complicadas en cualquiera de estos procesos de transformación.

En numerosas investigaciones encontradas se analizan distintas opciones que tratan de dar solución a esta problemática. Entre ellas, estudios en los que se incorporan residuos plásticos:

- en la fabricación de elementos constructivos no portantes, ladrillos, bloques y placas a base de cemento, con los que conseguir, además de reducir la cantidad de residuos en vertederos, productos más económicos, livianos y de mejores prestaciones térmicas que los tradicionales, para la construcción de viviendas de interés social. Se utilizan envases y envoltorios en desuso [8] [9].
- en la fabricación de hormigones y pavimentos, para obtener ligereza en el primero [10] y durabilidad en el segundo [11]. Se utilizan tuberías de PVC, ruedas de vehículos y bolsas de leche en desuso.
- o incluso para la modificación de algunas de las propiedades de compuestos de yeso, como la disminución de densidad [12], la mejora de las propiedades térmicas [13] o el aumento de la capacidad de deformación [14], entre otras.

Además, a lo largo de la búsqueda se han encontrado otras publicaciones acerca de la utilización de distintos plásticos como poliestirenos, polietilenos, ABS's, poliepóxidos, polímeros sintéticos, polipropilenos, gomas, etc, como adición o sustitución en matrices de cemento y yeso.

Esto ha dado lugar al presente trabajo de investigación, del que no se conoce experiencia anterior, y cuyo objetivo principal es evaluar la reutilización de plásticos procedentes del reciclaje de cables eléctricos en desuso. Como objetivo particular se pretende analizar la viabilidad de reutilización de estos residuos adicionados en compuestos de matriz de escayola. Para ello se dispone del residuo tal y como procede de la planta de reciclaje y se busca el máximo porcentaje de adición sin comprometer los valores de referencia mínimos establecidos para los yesos tipo A en normativa UNE EN 13279-2 Y UNE 102042 [15] [16].

## 2. METODOLOGÍA

En el proceso experimental llevado a cabo en esta investigación se ha utilizado una escayola de fraguado rápido, con designación europea tipo A y de la marca comercial Placo Saint-Gobain fabricada en la planta de San Martín de la Vega (Madrid). Posee una pureza superior al 90%, una granulometría entre 0-0,2 mm y una resistencia mecánica a flexión superior a 3 N/mm<sup>2</sup>. Los residuos plásticos, es decir, la granza, proceden de la empresa de reciclaje Lyrsa Álava, y se obtienen en dicha empresa tras el proceso de reciclaje al que se someten los cables en desuso para la recuperación del metal del hilo conductor. Esta granza está compuesta de una mezcla heterogénea de materiales termoestables y termoplásticos, con una granulometría máxima de 3 mm (Figura 1). En cuanto a la relación agua/escayola utilizada ha sido de 0,8, constituyendo un valor dentro de lo recomendado por el fabricante.



**Fig. 1:** Granza obtenida tras el reciclaje del hilo conductor de cables en desuso. Empresa Lyrsa Álava.

En primer lugar se procedió a la caracterización fisicoquímica (análisis elemental, DRX y análisis termogravimétrico) de la materia prima, tanto de la escayola como de la granza. En segundo lugar se procedió a la elaboración de los compuestos. Para ello y, siguiendo las indicaciones tanto de la UNE EN 13279 como de la UNE 102042, se confeccionaron series de tres probetas prismáticas de 4x4x16 cm con las que llevar a cabo los ensayos de dureza Shore C, absorción, flexión y compresión referenciados en dicha normativa.

Para poder efectuar la comparación de los resultados obtenidos, se realizó una primera serie de probetas de referencia sin granza (REF-0% granza). A continuación se fue aumentando la cantidad de granza adicionada en las proporciones 50% - 60% - 70% sobre el peso de la escayola (Tabla 1).

**Tabla 1: Dosificación de los compuestos.**

Denominación del compuesto	Agua (%)	Escayola (%)	Granza adicionada (%)	Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )
REF- 0 %G	80	100	0	988,90
50%G	80	100	50	1008,50
60%G	80	100	60	1022,10
70%G	80	100	70	1014,60

### 3. RESULTADOS

Previo al desarrollo de los ensayos, se realizó el tamizado de la granza con el objetivo de definir la granulometría de la misma. La serie de tamices utilizada fue la indicada para las arenas según UNE-EN 933-1:2012 [17]. La curva granulométrica obtenida nos mostró que el 100% de la muestra pasó por el tamiz de 4 mm, siendo el salto más significativo entre el tamiz de 2 mm y el tamiz de 1 mm, reduciéndose bruscamente la cantidad de granza que pasó por ellos de un 85% a un 16% respectivamente.

La primera fase de los ensayos, caracterización fisicoquímica, fue realizada en el laboratorio de química de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid. La segunda fase, realización de compuestos y ensayos de los mismos, fue realizada en el laboratorio de materiales de la Escuela Técnica Superior de Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid.

#### 3.1. Caracterización fisicoquímica de la materia prima (escayola y granza)

El *análisis elemental* se realizó mediante el ensayo de fluorescencia de Rayos X para comprobar los elementos constituyentes de la escayola y de la granza. Se utilizó un equipo de trabajo de espectrometría de absorción o emisión atómica modelo S2-PUMA de la casa comercial Bruker.

Una vez preparadas e introducidas cada una de las muestras, el equipo comenzó a generar las radiciones características para cada elemento que fueron recogidas y analizadas por los componentes del sistema electrónico.

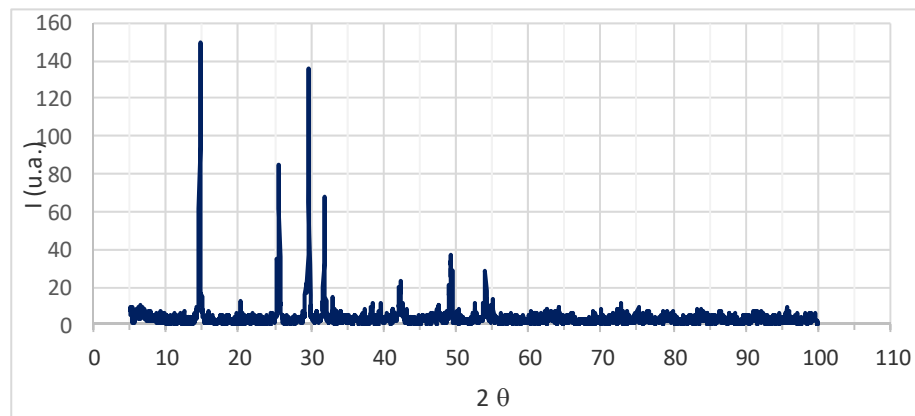
Los resultados del análisis elemental mediante fluorescencia de rayos X se muestran en la tabla 2 (expresados como óxidos en el caso de la granza).

**Tabla 2: Análisis elemental de escayola y granza.**

Concentración [%] (superior a 0,5%)			
Compuesto	Escayola	Compuesto	Granza
Óxido de azufre	56,4	Materia orgánica	92,6
Óxido de calcio	41,9	Aluminio	1,9
Óxido de silicio	0,7	Cloro	1,3
		Bromo	1,2
		Cobre	0,8
		Calcio	0,7
		Silicio	0,5

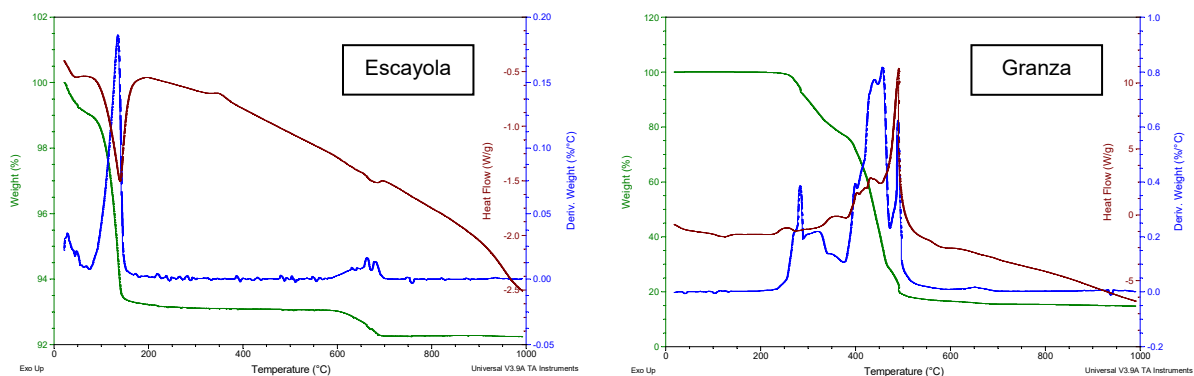
La escayola está compuesta mayoritariamente por S y Ca, con un porcentaje de 98,3%, como corresponde a su composición química de sulfato de calcio. En el caso de la granza, la materia orgánica constituyente de los polímeros da cuenta de un 92,6% de la composición. Destaca la presencia de cloro, que podría corresponder al PVC, uno de los polímeros presentes en mayor medida en los cables eléctricos [18]. La presencia de cobre y aluminio podría deberse a residuos metálicos del cable eléctrico.

Para la *difracción de Rayos X* se utilizó un difractorómetro Siemens Diffraktometer D5000, que nos proporcionó la medición de la emisión, absorción, dispersión, fluorescencia y difracción de la radiación electromagnética de la muestras de escayola. El difractograma de Rayos X de la escayola identificó que la muestra estaba formada por sulfato de calcio hemihidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5 \text{H}_2\text{O}$ ), y no se observó la presencia de hidrato [19] (Figura 2). El hemihidrato se obtiene por deshidratación parcial del yeso natural (piedra de aljez), también llamado dihidrato por su composición química ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ), a una temperatura ligeramente superior a  $100^\circ\text{C}$  [20].



**Fig. 2: Difractograma de Rayos X en escayola.**

Se aplicó la técnica de *termogravimetría*, pérdida o ganancia de masa en función de la temperatura, para el análisis térmico gravimétrico dinámico de la escayola y de la granza. El equipo empleado fue una termobalanza TA Instruments SDT Q600, atmósfera de 100 ml/min de aire y, rampa desde temperatura ambiente hasta  $1000^\circ\text{C}$  ( $10^\circ\text{C}/\text{min}$ ). Se obtuvieron los resultados reflejados en las Figura 3:



**Fig. 3: Análisis termogravimétrico de escayola y granza.**

La muestra de escayola presenta una pérdida de peso total de un 7,7%; tras una primera pérdida de peso (<1%) debida a humedad débilmente asociada, una segunda pérdida de peso (endotérmica) en torno a un 5,8% comprendida entre 100 y 200°C, puede asociarse a la deshidratación del yeso hemihidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ ) para obtener sulfato cálcico anhidro o anhidrita III, que se produce a temperatura inferior a 200°C [19]. Entre 550 y 750°C se produce una pérdida de masa en torno a un 0,8%. Dado que es el sulfato de calcio no presenta cambios en su masa hasta una temperatura superior a 1000°C, este último evento puede deberse a la presencia de algún aditivo retardador o acelerador del fraguado en la escayola.

Dada la heterogeneidad de la muestra de granza, al tratarse de un residuo industrial mezcla de muy distintos tipos de polímeros, se realizaron tres análisis. En la figura 3 indicada anteriormente, se muestra el resultado de uno de ellos. La muestra de granza es estable térmicamente hasta una temperatura aproximada de 200°C. Desde esa temperatura, y hasta aproximadamente 700 °C presenta una pérdida de masa continua, y muy acusada, con un valor total de aproximadamente un 84%, lo que indica la presencia de un residuo inorgánico incombustible en torno a un 16% en la granza. La derivada del peso con la temperatura muestra varios máximos en todo el intervalo de 200 a 700°C; cada uno de ellos correspondería a la descomposición térmica oxidativa de un componente de la muestra, lo que se corresponde claramente con la heterogeneidad de la misma, que es una mezcla de polímeros [21] [22]. De forma aproximada, se distinguen dos zonas en la pérdida de masa con la temperatura entre 200 y 700°C. La primera, de aproximadamente 23%, hasta aproximadamente 375°C, que muestra a su vez varios procesos de descomposición, y una segunda, con una pérdida de masa de más del doble (60% en este caso) que muestra también varios máximos. El análisis térmico realizado en tres porciones distintas de muestras proporciona resultados cualitativamente similares.

### 3.2. Ensayos de los compuestos

Se determinó la *dureza superficial* de todas las mezclas que posteriormente fueron ensayadas a flexión y compresión. Se utilizó para ello un durómetro que mide la Dureza Shore C, sobre las dos caras longitudinales laterales de la probeta

Los resultados no arrojaron cifras de mejora significativa de los compuestos, 80-81, respecto de la referencia (0% granza), 78. Aunque es cierto que las probetas de las mezclas tenían una mayor porosidad, se comprobó que no es un factor concluyente a la hora de cuantificar la dureza del material [5].

Para conocer la velocidad de *absorción por capilaridad* de las diferentes mezclas, se realizó el ensayo de absorción de agua, basado en la norma RILEM RC 25-PEM [23] utilizada en otras investigaciones. Los resultados fueron los que se muestran en la Figura 4:

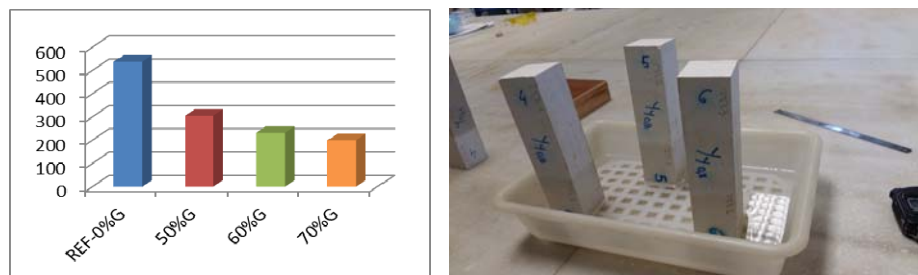


Fig. 4: Absorción por capilaridad a los 7 días (mm).



Se observó que, mientras que en la muestra de referencia (0% granza) el agua lograba ascender hasta 538 mm, en las mezclas 50%G-60%G-70%G, esta cantidad no llegaba más allá de 305mm-232mm-200mm respectivamente. Esto suponía una reducción de más de un 50% de la capacidad de absorción de agua por capilaridad en los compuestos con mayor porcentaje de residuo.

Al contrario que la escayola, de la que es conocida su avidez por el agua, los residuos poliméricos incorporados, tienen como propiedad su impermeabilidad. Esta impermeabilidad da explicación a la disminución tan notable de la capacidad de absorción de las probetas, pues la gran cantidad de granza adicionada funciona como una barrera mediante la cual se dificulta el ascenso del agua. Este hecho fue más acusado en las probetas de mayor porcentaje de granza en las que, en los últimos minutos, apenas era absorbido un milímetro de agua frente a los tres o cuatro milímetros que absorbía la probeta de referencia.

Para determinar el valor de rotura máxima a flexión (*resistencia a flexión*) y de rotura máxima a compresión (*resistencia a compresión*) de cada serie de probetas, se utilizó el equipo de trabajo Autotest 200 de Ibertest, que aplicó la carga hasta que se produjo la rotura y registró en el programa informático el dato obtenido. Se obtuvieron los resultados indicados en las Figuras 5 y 6.



**Fig. 5: Resistencia a flexión a los 7 días (N/mm<sup>2</sup>).**

En el ensayo de resistencia a flexión, se obtuvieron valores de 4,78 N/mm<sup>2</sup> para la referencia y valores de 2,55 N/mm<sup>2</sup> – 2,63 N/mm<sup>2</sup> – 2,40 N/mm<sup>2</sup> para las mezclas de 50%G – 60%G – 70%G respectivamente. Estos datos evidenciaron dos cosas, por un lado, el cumplimiento del valor mínimo según normativa, 1 N/mm<sup>2</sup> y, por otro lado, la disminución de aproximadamente un 50% del valor de la muestra de referencia cuando se incorporan los residuos plásticos en su matriz.



**Fig. 6: Resistencia a compresión a los 7 días (N/mm<sup>2</sup>).**

En el ensayo de resistencia a compresión, los valores alcanzados fueron de 10,62 N/mm<sup>2</sup> para la referencia y de 5,06 N/mm<sup>2</sup> – 5,12 N/mm<sup>2</sup> – 5,10 N/mm<sup>2</sup> para las mezclas de 50%G – 60%G – 70%G respectivamente. Al igual que en el ensayo de resistencia a flexión, cuando se incorporaron los residuos poliméricos, los datos dieron cumplimiento al valor mínimo según normativa, 2 N/mm<sup>2</sup>

pero, a su vez, mostraron también una disminución aproximada de un 50% sobre el valor para la muestra de referencia.

#### 4. CONCLUSIONES

El estudio de los resultados obtenidos a través de los ensayos, permite aproximarse tanto a las ventajas como a las desventajas de los compuestos planteados. En este estudio se sugiere una buena posibilidad de uso para los compuestos elaborados con los residuos plásticos de cables en desuso, pero también se indican inconvenientes que deberán seguir siendo estudiados y tomados en cuenta:

- Se confirma la naturaleza de la escayola como yeso hemihidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ ), componente más abundante de los productos comerciales de yeso para la construcción por sus propiedades plásticas.
- El análisis de la granza pone de manifiesto su compleja naturaleza química, mezcla de muy distintos polímeros, que debe caracterizarse en profundidad teniendo en cuenta el uso posterior de los elementos constructivos.
- Se consigue una buena compatibilidad en las mezclas, la granza se distribuye uniformemente en las probetas. Con la incorporación del residuo se consigue reducir en hasta un 30% la cantidad de yeso y agua necesario para la realización de las probetas.
- La dureza superficial no se ve afectada por la incorporación del residuo en la matriz de escayola.
- Se mejora favorablemente la capacidad de absorción de agua por capilaridad produciendo un efecto reductor ante la amenaza de la humedad en elementos de escayola.
- Las resistencias mecánicas disminuyen pero siempre se mantienen valores dos veces superiores a los indicados en normativa UNE-EN 13279-1.

La adición de residuos plásticos de cables en matrices de escayola es una oportunidad con la que conseguir compuestos de mayor sostenibilidad, reduciéndose con ellos el uso de recursos naturales, piedra de aljez y agua, y minimizándose la cantidad de residuos plásticos de cables.

Se abre, por tanto, una vía de trabajo con la que proponer alternativas al problema del cierre del ciclo de vida de este residuo con su reincorporación, nuevamente, al mercado, siguiendo los criterios de un modelo de "economía circular".

#### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] del Río Merino, M., Garcia Navarro, J., Villoria Saez, P. (2011). "Legal aspects which implement good practice measures in the management of construction and demolition waste". *Open Construction & Building Technology Journal* (vol. 5, no. Suplem), p. 7.
- [2] López de Asiain, J. (2001). "Arquitectura, ciudad, medioambiente". *Kora* (no. 11 Sevilla: Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones), p. 214.
- [3] R. Merino, M., González Cortina, M., Izquierdo Gracia, P., Santa Cruz Astorqui, J., Salto-Weis Azevedo, I. (2006). "Los nuevos materiales de construcción como alternativa al reciclaje de los residuos industriales: motero de cemento-caucho reciclado (CCR).
- [4] Eurostat. (2014, 5 de febrero). *Waste statistics*.



- [5] Alameda, L., Calderón, V., Gadea, J., Gutiérrez-González, S. (2015). "Reciclado de placas de yeso laminado aligeradas con residuos de poliuretano = Recycling of gypsum plasterboard lightened with polyurethane waste". *Anales de Edificación* (vol. 1, no. 1), pp. 33-39.
- [6] PlasticsEurope. (2016, 4 de febrero). *Indicadores de fabricación de plásticos*.
- [7] Franco-Urquiza, E., Maspoch, M. L. (2014). "Viabilidad del reaprovechamiento de residuos de PVC provenientes de cables eléctricos: propiedades mecánicas". *Afinidad* (vol. 71, no. 567).
- [8] Gaggino, R., Arguello, R., Berretta, H. (2007). "Aplicación de material plástico reciclado en elementos constructivos a base de cemento". *Córdoba: Centro Experimental de la Vivienda Económica*.
- [9] De Los Santos, E. G., et al., "Estudio De Factibilidad Bloques De Hormigón Con Agregado De Residuo Plástico ABS."
- [10] Kou, S., Lee, G., Poon, C., Lai, W. (2009). "Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes". *Waste Management* (vol. 29, no. 2), pp. 621-628.
- [11] Reyes, F. (2007). "Mezclas asfálticas modificados con un elastómero (caucho) y un plastómero (tiras de bolsas de leche con asfalto 80-100)". *Infraestructura Vial* (vol. 10, no. 17).
- [12] Jiménez Rivero, A., Guzmán Báez, A., García Navarro, J., González Cortina, M. (2011). "Nuevos Materiales de Base Yeso con Incorporación de Residuos de Caucho: Caracterización Físico-Mecánica".
- [13] G. Madariaga, F. J. (2008). "Mezclas de residuos de poliestireno expandido (EPS) conglomerados con yeso o escayola para su uso en la construcción". *Informes de la Construcción* (vol. 60, no. 509), pp. 35-43.
- [14] García Santos, A. (1988). "Comportamiento mecánico de yeso reforzado con polímeros sintéticos" *Arquitectura*.
- [15] *UNE-EN 13279-2:2014 "Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo"*, U. N. Española UNE-EN 13279-2, 2014.
- [16] *UNE 102042 "Yesos y escayolas de construcción. Otros métodos de ensayo"*, U. N. Española UNE 102042, 2014.
- [17] *UNE-EN 933-1. Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado.*, AENOR UNE-EN 933-1, 2012.
- [18] S. Suresh, S., Mohanty, S., K. Nayak, S. (2017). "Composition analysis and characterization of waste polyvinyl chloride (PVC) recovered from data cables". *Waste Management* (vol. 60), pp. 100-111).
- [19] Strydom, C., Potgieter, J. (1999). "Dehydration behaviour of a natural gypsum and a phosphogypsum during milling". *Thermochimica acta* (vol. 332, no. 1), pp. 89-96.
- [20] Villanueva, L., García Santos, A. (2001). *Manual del yeso* (no. Sirsi i9788495312464).
- [21] Ehrenstein, G. W., Riedel, G., Trawiel, P. (2012). "Thermal analysis of plastics: theory and practice". *Carl Hanser Verlag GmbH Co KG*.
- [22] Richard, G., Touhami, S., Zeghloul, T., Dascalescu, L. (2017). "Optimization of metals and plastics recovery from electric cable wastes using a plate-type electrostatic separator". *Waste Management*, (vol. 60), pp. 112-122.
- [23] Rilem, T. 25-PEM. (1980). Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods," *Materials and Structures*, vol. 13, no. 75, pp. 175-253.