

ÁRIDO SINTÉTICO DE PLÁSTICOS DE RAEE – UNA ALTERNATIVA SUSTENTABLE PARA MORTEROS Y COMPONENTES CONSTRUCTIVOS

Jerónimo Kreiker, Lucas E. Peisino, Rosana Gaggino, Melina Gómez, Julián González Laria.

Centro Experimental de La Vivienda Económica (CEVE-CONICET), Asociación Vivienda Económica (AVE), Córdoba – Argentina. Igualdad 3585 X5003BHG. <http://www.ceve.org.ar> <http://www.ave.org.ar>, +54 0351 4894442. jkreiker@ceve.org

Palabras clave: áridos artificiales, reciclado de RAEE, morteros sustentables.

Resumen:

Uno de los residuos de más difícil tratamiento y que ha crecido en magnitud en los últimos años son los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Según un informe del INTI, la cantidad de RAEE generada por año podría ser cercana a 120.000 Tn, sin poder estimar la cantidad acumulada, y sólo un 5% es tratado adecuadamente por empresas recicladoras. De los diferentes materiales constitutivos de los RAEE, la fracción plástica compuesta por la mezcla de plásticos ABS (Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno) y HIPS (Poliestireno de Alto Impacto) es la más difícil de insertar en los circuitos de reciclado. Éste es un material con alta disponibilidad y muy buenas propiedades mecánicas que requiere de una inserción inmediata en un nuevo ciclo productivo, ya que su inadecuada gestión resulta en la contaminación del suelo y las napas subterráneas.

En nuestro Centro estamos trabajando una tecnología de fabricación de un árido sintético (AS), mediante el encapsulado de las partículas del desecho con sucesivas capas de cemento y aditivos.

Los desechos provenientes de dos empresas diferentes, fueron triturados hasta obtener partículas de 2-3 mm. Luego, éstas fueron sometidas a un tratamiento de encapsulado con sucesivas capas de cemento y aditivos hasta alcanzar un máximo del 40% en peso de cemento. También se evaluó la cantidad de cemento necesaria para lograr una alta esfericidad del AS. Se llevó a cabo el análisis granulométrico y morfológico de las partículas de AS con diferente proporción de cemento y aditivos.

El AS fue fraguado durante 7 días y utilizado para moldear probetas de ensayo según norma IRAM 1622, con diferentes proporciones de cemento:AS. Las probetas fueron curadas en agua y sometidas a ensayos de resistencia a la compresión simple a los 28 días. Resultados preliminares mostraron un buen comportamiento del AS, con una mayor resistencia mecánica de las partículas con mayor cantidad de capas de cemento. Los valores obtenidos fueron mayores a 2 MPa para todas las proporciones estudiadas, lo que permite proponer su uso en morteros y fabricación de componentes tipo ladrillos, bloques y placas premoldeadas.

1 Introducción.

En los últimos quince años ha aumentado el consumo de aparatos eléctricos y electrónicos de manera descomunal, solo en el año 2010 en la Argentina se vendieron un millón de televisores, 12 millones de teléfonos celulares, 1,2 millones de impresoras y cerca de 2,65 millones de computadoras (Devia 2012). Debido a la obsolescencia de este tipo de bienes de consumo, se generan aproximadamente 120.000 Tn de basura electrónica por año en nuestro país, lo que se puede expresar como 3,5 Kg de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) por persona. Además es imposible estimar la cantidad acumulada, y sólo un 5% es tratado adecuadamente por empresas recicladoras (Protomastro 2007).

Este residuo es de difícil tratamiento debido a la presencia de ciertos compuestos dañinos para la salud y el ambiente. En general presentan una concentración importante de metales pesados,

sustancias halogenadas y derivados de la descomposición de los plásticos (Ongondo et al. 2011). La fracción metálica es la que posee mayor valor monetario y por consiguiente es comercializada a empresas destinadas a la recuperación de los mismos, de esta manera se recupera un gran cantidad de metales con alto valor agregado como oro, plata, bismuto, cobalto y paladio, entre otros (Ongondo et al. 2011).

Del total de los RAEE el 20% corresponde a la fracción plástica, la cual está compuesta principalmente por el copolímero acrilonitrilo–butadieno–estireno (ABS), poliestireno (PS) y poliestireno de alto impacto (HIPS) (Schlummer et al. 2007). Dicha fracción es la más difícil de insertar en los circuitos de reciclado, uno de los inconvenientes que poseen este tipo de plásticos es la presencia de aditivos retardantes de llama del tipo aromáticos polibromados (Schlummer et al. 2007), (Kadari et al. 2016), los cuales son nocivos para la salud y el ambiente, por lo que su inadecuada gestión resulta en la contaminación del suelo y las napas subterráneas. Desde el punto de vista de las propiedades mecánicas este tipo de plásticos es muy duro y resistente a los golpes por lo que son adecuados para ser empleados como materiales de carga para la elaboración de materiales en el área de la construcción, como pueden ser mampuestos tipo ladrillos o premoldeados.

Por otro lado, es conocido que el cemento portland es un sustrato adecuado para llevar a cabo una estrategia de estabilización–solidificación tanto de contaminantes orgánicos como de contaminantes inorgánicos como los metales pesados (Paria and Yuet 2006).

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente es que en nuestro Centro de Investigación nos propusimos trabajar en la tecnología de fabricación de un árido sintético (AS), mediante el encapsulado de las partículas plásticas de RAEE con sucesivas capas de cemento portland y diversos aditivos. El fin es poder utilizar este residuo para la elaboración de mampuestos y/o premoldeados de manera segura tanto desde el punto de vista técnico–estructural como de la estabilización de los contaminantes presentes en dicho residuo plástico. En este trabajo se presenta la fabricación y caracterización de dos formulaciones diferentes de AS, la elaboración de probetas en matriz cementicia y el estudio de su comportamiento en ensayos de compresión simple.

2 Resultados y discusión.

2.1 Caracterización del residuo

Se trabajó con dos muestras de plásticos de RAEE provenientes de diferentes fuentes. Si bien a la fecha no se ha realizado la determinación de la composición química de los diferentes plásticos es conocido que este tipo de residuos está compuesto principalmente por ABS, PS y HIPS (Martinho et al. 2012). Sin embargo se ha realizado una clasificación preliminar teniendo en cuenta el color de las partículas para asociar el residuo a diferentes aparatos eléctricos y electrónicos. La muestra 1 está formada principalmente por partículas de color negro (proveniente de televisores), mientras que la muestra 2 está compuesta principalmente de partículas de color blanco, las cuales corresponden a monitores, impresoras, CPUs y periféricos de computadoras, y partículas de color negro, procedentes principalmente de televisores. En la Figura 1 se presenta la distribución por colores de las partículas plásticas de RAEE.

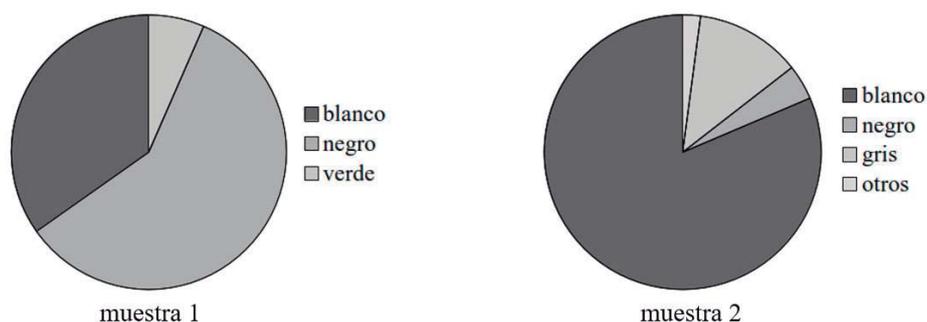


Figura 1. Composición de los plásticos de RAEE por color.

En este trabajo se presentan los resultados de la producción del AS y las correspondientes probetas a partir de la muestra 1 (Figura 1).

El plástico de RAEE de la muestra 1 fue triturado con un molino de cuchillas rotativas equipado con un tamiz de 3 mm. En la Figura 2 se presenta la curva granulométrica de dichas partículas plásticas junto con la curva granulométrica de arena gruesa de río empleada para elaborar las probetas denominadas patrón (Tabla 2, serie 4). Se observa claramente como el plástico de RAEE posee una curva discontinua ya que el 90% del material quedan en los tamices N° 8 y 16, mientras que la arena posee una distribución de tamaños de partícula más homogénea. Esto es propio de la forma en que se produce el triturado del plástico de RAEE.

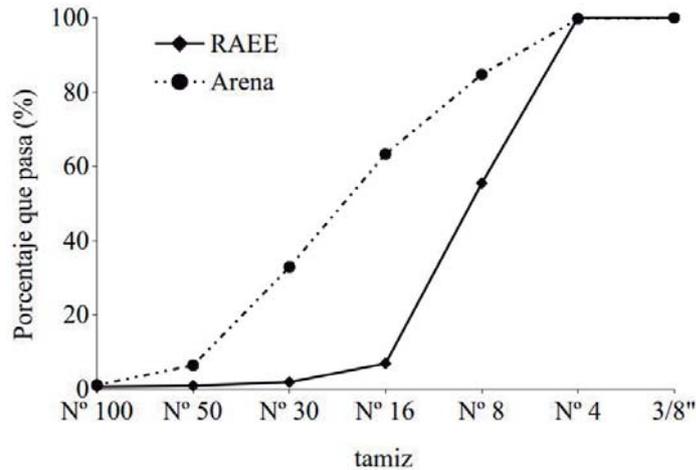


Figura 2. Curva granulométrica de RAEE triturado a 3 mm.

2.2 Producción del árido sintético

El AS se elaboró a partir de partículas plásticas de RAEE, cuya curva granulométrica se muestra en la Figura 2. Se llevó a cabo la preparación de dos tipos de AS diferentes P1 y P2.

El primero (P1) posee en su composición 500 g de plástico de RAEE y 300 g de cemento, el cual fue adicionado junto con el agua (120 mL) en tres veces generando así sucesivas capas (un total de tres capas), se esperó 24 horas de fraguado y se tamizó (malla N°4, 4,8 mm) entre capa y capa.

El AS P2 posee otro residuo como aditivo, este es el residuo del pulido de los porcelanatos (RPP) el cual es un polvo muy fino compuesto principalmente por SiO₂ (pasa el tamiz N° 200, tamaño de partícula < 74 μm) (Kreiker et al. 2014). El árido P2 está formado por 500 g plástico de RAEE, 300 g de RPP y 300 g de cemento, el RPP y el cemento se mezclaron previamente en seco y luego se adicionaron junto con el agua (240 mL) en tres veces, generando así sucesivas capas, se esperó 24 horas de fraguado y tamizó (malla N°4, 4,8 mm) entre capa y capa.

Se determinó la densidad aparente de cada uno de los AS, resultando ser 0,77 y 0,84 g/cm³ para P1 y P2 respectivamente. Comparando estos valores con la densidad del material de partida (densidad aparente de plástico de RAEE es 0,56 g/cm³) se puede apreciar que son mayores, lo cual es propio de la mayor proporción de material fino que poseen los AS P1 y P2.

Respecto al tamaño y a la forma de los AS obtenidos se observa a simple vista que los mismos son más grandes que el plástico de RAEE, son más esféricos y los ángulos de las aristas de las partículas son más suaves (Figura 3). Lo mencionado anteriormente se encuentra de acuerdo con los parámetros de tamaño y forma presentados en la Tabla 1, los cuales fueron determinados mediante una metodología de toma y procesamiento de imágenes. Este cambio en la forma y aumento de tamaño no solo se debe a que P1 y P2 poseen como recubrimiento un material muy fino como el cemento, sino también a que se generan aglomeraciones de partículas las cuales forman agregados de mayor tamaño.

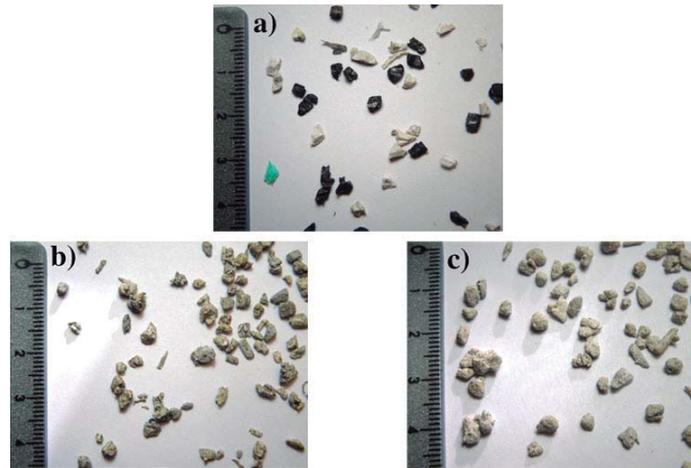


Figura 3. Partículas de RAEE (a) y de los AS P1 (b) y P2 (c).

Tabla 1. Descriptores de forma

	RAEE	P1	P2
Área (mm ²)	13	16	23
Circularidad	0,58	0,63	0,64
Redondez	0,67	0,70	0,71

2.3 Elaboración de probetas y resistencia a la compresión

Se moldearon probetas de 4x4x16 cm normalizadas para ensayo de resistencia a la compresión simple. En una primera serie se utilizó como árido en la mezcla de mortero el plástico de RAEE sin ningún tratamiento (solo molido con un tamiz de 3 mm). Luego se emplearon los áridos sintéticos P1 y P2 como material de carga en el mortero. Además se realizaron patrones donde el mortero fue preparado con arena gruesa. Como ligante para los morteros se empleó cemento Portland CPF40 marca Holcim. Se estudiaron relaciones de árido:cemento 6:1 y 4:1 en volumen. En todos los casos la relación en masa agua:cemento fue cercana a 0,5 y ajustada a mano para cada mortero. Las diferentes dosificaciones de las probetas se muestran en la Tabla 2.

Una vez elaboradas las correspondientes probetas, fueron desmoldadas a las 24 horas y curadas durante 28 días en condiciones de saturación de humedad a 25 °C. A los 28 días de fragüe las probetas fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión simple

Tabla 2. Dosificaciones de las diferentes probetas.a

Serie	Árido (g)	Cemento (g)	A:C _b	Agua (mL)	Cemento total (%)
1	RAEE (144)	(50)	6:1	(26)	(26)
2	P1 (197)	(50)	6:1	(29)	(50)
3	P2 (215)	(50)	6:1	(25)	(41)
4	Arena Gruesa (407)	(50)	6:1	(36)	(11)
5	P1 (197)	(75)	4:1	(39)	(55)
6	P2 (215)	(75)	4:1	(37)	(46)

a Todas las cantidades presentadas en esta Tabla son para elaborar una probeta. Las probetas fueron fraguadas durante 28 días en bateas saturadas de humedad a una temperatura de 25°C.

b Árido:Cemento, relación en volumen.

Los ensayos a la compresión simple se realizaron con una prensa hidráulica accionada eléctricamente, la cual posee una velocidad de descenso de 0,7 mm/s. El dispositivo de ensayo y el tamaño de las probetas se encuentran de acuerdo a la Norma IRAM 1622, de ensayos de resistencia a la compresión simple para hormigones. Los resultados se presentan en la Tabla 3, los valores informados corresponden al promedio de 6 ensayos diferentes.

Tabla 3. Valores de Resistencia a la compresión simple.^a

Serie	Árido	Árido:Cemento	ρ (g/cm ³)	T _{máxima} (MPa)	Error %
1	RAEE	6:1	0,74	(1,8 ± 0,1)	6
2	P1	6:1	0,99	(4,6 ± 0,2)	4
3	P2	6:1	1,12	(5,0 ± 0,4)	8
4	Arena Gruesa	6:1	1,95	(9,7 ± 0,4)	4
5	P1	4:1	1,08	(5,3 ± 0,1)	2
6	P2	4:1	1,18	(8,2 ± 0,8)	10

^a Según Norma IRAM 1622.

Como se observa en la Figura 4, la resistencia a la compresión simple de las probetas de RAEE (Tabla 3, serie 1) no supera los 2 MPa indicados por el Reglamento CIRSOC-501 (Parmigiani 2007) para que el mampuesto pueda ser empleado como material de cerramiento. Por otro lado, la resistencia de las probetas elaboradas con el AS P1 (Tabla 3, serie 2) supera ampliamente a las elaboradas con el plástico sin tratamiento previo. El empleo del AS P1 no solo mejora el desempeño de las probetas al ensayo de compresión simple sino que dicho valor de resistencia se encuentra por encima de lo estipulado por el Reglamento CIRSOC-501 (Parmigiani 2007) para mampuestos que son aceptados para emplearse como material portante. Asimismo las probetas elaboradas con el AS P2 y una relación árido:cemento 6:1 (Tabla 3, serie 3) poseen una resistencia a la compresión de 5,0 MPa. El AS P2 posee una mayor proporción de material debido a que tiene rpp además de cemento como cobertura, sin embargo esto no se refleja en un aumento significativo en la resistencia a la compresión respecto a las probetas elaboradas con el AS P1.

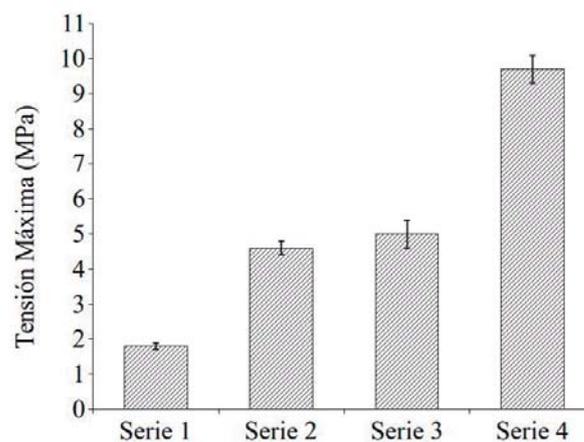


Figura 4. Resistencia a compresión simple de probetas con una relación árido:cemento 6:1.

Por otra parte, se ha observado un aumento significativo en la resistencia a la compresión de las probetas elaboradas con el AS P2 y una relación árido:cemento 4:1 (Figura 5), casi el doble que para una relación árido:cemento 6:1. Lo llamativo es que la resistencia a la compresión con esta proporción de cemento de las probetas elaboradas con el AS P1 no es significativamente mayor que para una relación árido:cemento 6:1 (Tabla 3, serie 2 y 5).

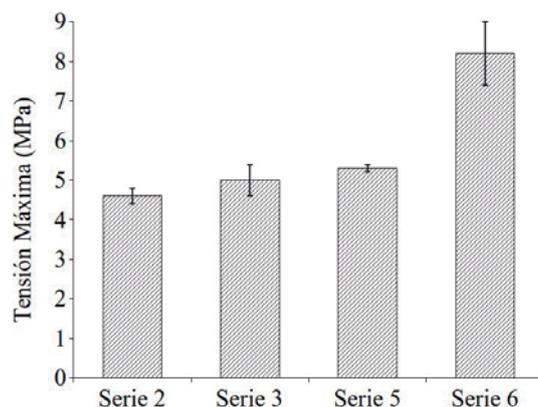


Figura 5. Resistencia a compresión simple de probetas elaboradas con los AS P1 y P2 (con relación árido:cemento 6:1 y 4:1).

Finalmente es posible realizar una mención acerca de la cantidad de cemento total que posee cada serie de probetas. El porcentaje de cemento total presentado en la Tabla 2 tiene en cuenta el cemento necesario para la elaboración del correspondiente AS y el cemento necesario para elaborar la probeta. Como se puede observar en dicha Tabla las probetas de plástico RAEE (serie 1) son las que menor proporción de cemento presentan, asimismo estas probetas son las que presentan una menor resistencia a la compresión. Las probetas de la serie 2 (P1) poseen un 50% de cemento mientras que las de la serie 3 (P2) dicha cantidad es del 41%. Por más que las probetas de la serie 2 tengan una mayor proporción de cemento, poseen la misma resistencia a la compresión que las probetas de la serie 3.

Por otra parte, las probetas de la serie 5 (P1) son las que tienen una mayor proporción de cemento sin embargo la resistencia a la compresión es solo de 5,3 MPa. Mientras que para las probetas de la serie 6 (P2), que poseen un porcentaje de cemento del 46% la resistencia a la compresión es 8,2 MPa. Esta diferencia debe estar relacionada con las distintas formas y distribución de tamaños de las partículas del AS P1 y P2.

3 Conclusiones

Los AS preparados en este trabajo han tenido un muy buen desempeño para la elaboración de probetas en matriz cementicia. La resistencia a la compresión simple de las mismas ha sido satisfactoria ya que se encuentran por encima del valor establecido por las normas vigentes sobre cómo debe ser el comportamiento de mampuestos. Las probetas de las series 2 y 3, elaboradas con los AS P1 y P2 respectivamente, poseen una mayor proporción de cemento que las probetas de plástico de RAEE (50 % serie 2 (P1), 41% serie 3 (P2) y 26% serie 1 (RAEE)), las mismas tienen una resistencia a la compresión mayor al doble que esta última. Este hecho puede parecer una desventaja de los AS desarrollados aquí. Sin embargo, para poder utilizar este residuo (plástico de RAEE) es necesario llevar a cabo algún proceso para la estabilización de los contaminantes presentes. Nuestra estrategia de recubrimiento con cemento y aditivos abarca el problema desde dos perspectivas diferentes: una es la estabilización de los compuestos nocivos y la otra es el mejoramiento del desempeño del mampuesto propuesto como solución tecnológica del empleo de este tipo de residuo plástico.

En este trabajo se ha demostrado que es posible desarrollar una tecnología adecuada para el tratamiento de la fracción plástica de los RAEE, y dar una solución desde el punto de vista social y ambiental a esta problemática. Asimismo proponemos la producción de un elemento constructivo como puede ser un mampuesto, una placa de cerramiento prefabricada o simplemente emplear los AS desarrollados como material de carga para lozas y pisos; y de esta forma aportar al reciclado de materiales que en la actualidad son considerados desechos con un fin en el área de la

construcción civil e industrial.

Sin duda una de las mayores ventajas que se puede inferir en el uso del AS sería un mejor comportamiento como aislante térmico, debido al carácter aislante del plástico constitutivo del RAEE con respecto al árido tradicional. Este estudio será emprendido en futuras investigaciones sobre las ventajas y características de esta tecnología.

4 Referencias

Devia, Leila. 2012. "Basura Electrónica: Los Riesgos de Consumir Y Descartar." *Saber Como* (108):2.

Kadari, Ramaswamy et al. 2016. "Quantitative Estimation of Brominated Compounds for Restriction of Hazardous Substances (RoHS) Present in Computer Key Board Switches (CKBS) Using Gas Chromatography-Mass Spectrometry." *Journal of Analytical Chemistry* 71(1):133–39.

Kreiker, Jerónimo, Juan Cruz Carrizo, Sergio Ceppi, and Ruben Mutal. 2014. "Caracterización de Desechos Industriales Inorgánicos Para Se Usados Como Material Suplementario En Morteros Cementicios." P. 102 in *III Taller Argentino de Ciencias Ambientales*. Córdoba.

Martinho, G., A. Pires, L. Saraiva, and R. Ribeiro. 2012. "Composition of Plastics from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) by Direct Sampling." *Waste Management* 32(6):1213–17.

Ongondo, F. O., I. D. Williams, and T. J. Cherrett. 2011. "How Are WEEE Doing? A Global Review of the Management of Electrical and Electronic Wastes." *Waste Management* 31(4):714–30.

Paria, S. and P. K. Yuet. 2006. "Solidification-Stabilization of Organic and Inorganic Contaminants Using Portland Cement: A Literature Review." *Environmental Reviews* 14(4):217–55.

Parmigiani, Marta S. 2007. *Reglameto Argentino de Estructuras de Mampostería - CIRSOC 501*. Julio 2007. edited by INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL.

Protomastro, G. F. 2007. "La Cadena de Valor de Los RAEE Estudio Sobre Los Circuitos Formales E Informales de Gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos Y Electrónicos En Sudamérica." 1–87.

Schlummer, Martin, Ludwig Gruber, Andreas Mäurer, Gerd Wolz, and Rudi van Eldik. 2007. "Characterisation of Polymer Fractions from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) and Implications for Waste Management." *Chemosphere* 67(9):1866–76.