

UTILIZACIÓN DE ARENAS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN, RCD, EN LA FABRICACIÓN DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA.

**¹Saiz Martínez, P.; González Cortina, M.; Fernández Martínez, F.
Departamento de Construcciones Arquitectónicas y su Control
Avenida Juan de herrera, 6. 28040 Madrid.
e-mail: pablo.saiz@upm.es**

RESUMEN

En esta investigación se estudió el comportamiento y las propiedades más relevantes de los morteros de albañilería, al sustituir parte de la arena convencional por arena reciclada en diferentes porcentajes. Para ello se caracterizaron las arenas recicladas procedentes de las centrales de reciclaje y se realizaron ensayos con el fin de comparar las propiedades de los morteros tradicionales con los morteros elaborados con arena reciclada. La dosificación del mortero utilizada ha sido 1:3:0,5, y los porcentajes de sustitución de arena normalizada por arena reciclada fueron de: 10%, 15%, 25%, 35% y 45% , para los tres tipos de arenas recicladas empleadas en este estudio, dos arenas procedentes de la línea de reciclaje de hormigón y una de la línea de reciclaje cerámica.

Los resultados indican un aumento en la demanda de agua para obtener morteros trabajables, siendo necesario el empleo de aditivos a partir del 10% de sustitución. Las resistencias mecánicas obtenidas en los morteros reciclados son superiores en el caso de la flexión y ligeramente inferiores en compresión. Tanto en el ensayo de adherencia como en el de retracción, los morteros reciclados presentan un peor comportamiento que los morteros tradicionales, pero sin evidenciar pérdidas significativas en dichos valores, por lo que los morteros de cemento para albañilería con dosificación 1:3:0,5 pueden incorporar hasta un 45% de árido reciclado sin que sus principales características se vean afectadas.

Keywords: Árido reciclado, morteros de albañilería, residuos de construcción y demolición, ensayos mecánicos.

1.- Introducción.

La creciente sensibilización social por la conservación del Medio Ambiente y los recursos naturales, fomentan la búsqueda de alternativas que alivien el impacto que tienen los residuos sobre la Salud humana y el Medio Ambiente. Debido a esto, preservar el equilibrio natural se ha convertido en uno de los principales desafíos para la sociedad del siglo XXI.

La construcción es un sector que genera grandes cantidades de residuos y a su vez idóneo para fomentar el uso y la reutilización de los mismos al consumir una elevada cantidad de materias primas. De esta forma, se conseguiría modelos de construcción más sostenibles aliviando así parte del problema generado por la actividad de dicho sector.

La incesante actividad económica vivida en los últimos años previos a la crisis, provocó un aumento en la generación de residuos y en la utilización de recursos naturales. Por ello, los estados de los países más industrializados elaboraron planes que promueven la prevención, valorización, reciclaje y reutilización de dichos residuos.

A nivel Europeo la directiva 2008/98/CE [1] regula la producción y gestión de residuos. En España la legislación básica para los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), la constituye la Ley 10/1998 [2], que obliga a las diferentes Comunidades Autónomas a elaborar y aprobar Planes Nacionales de Residuos. En base a dicha Ley, se elaboró el II Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) [3] para los años comprendidos entre 2008 y 2015.

Los RCD se utilizan fundamentalmente como relleno de secciones de carreteras y en la fabricación de hormigones. En España, se permite la utilización de la fracción gruesa (tamaño superior a 4 mm) del árido reciclado sustituyendo al árido natural en un 20% según la EHE-08 [4]. En base a esto, la utilización de la fracción fina del árido reciclado en la fabricación de morteros de albañilería supone una nueva vía para la revalorización de los RCD.

Diferentes investigaciones científicas han estudiado la viabilidad de incorporar la fracción fina del árido reciclado en la fabricación de morteros de albañilería. Álvarez Cabrera et al. [5] analizaron morteros de albañilería empleando arena reciclada procedente de los escombros de demolición de un edificio. Para ello, prepararon cuatro dosificaciones (1:4, 1:5, 1:6 y 1:8) sometiénolas a ensayos físico-mecánicos, resistencia a la adherencia y absorción capilar. Concluyeron que esta arena reciclada era apta para la fabricación de morteros de albañilería y que poseían un comportamiento similar a los áridos de cantera y yacimientos.

Mesbah et al. [6] estudiaron la retracción producida en morteros elaborados con arena reciclada. Al cabo de 600 días la retracción en morteros reciclados era de 2.010 $\mu\text{m}/\text{m}$ mientras que en morteros elaborados con arena natural era de 1.060 $\mu\text{m}/\text{m}$. Para retrasar dicha fisuración Mesbah investigó la incorporación fibras metálicas o de propileno con arena reciclada.

Vegas et al. [7] estudiaron la viabilidad técnica de la fracción fina de los áridos reciclados procedentes de escombros de hormigón. Debido al estudio de

dosificaciones y caracterización de los morteros, concluyeron que los morteros de albañilería pueden incorporar hasta un 25% de árido reciclado sin que estos vieran afectadas sus prestaciones mecánicas, trabajabilidad y retracción sin el uso de aditivos.

Corinaldesi et al. [8] evaluaron el comportamiento mecánico y reológico de los morteros de cemento elaborados con tres tipos de áridos reciclados: material desechado de hormigón prefabricado, restos procedentes del reciclaje de ladrillos y escombros de una planta de reciclaje. Los resultados indican un peor comportamiento mecánico que los morteros de referencia, sin embargo, la adherencia mortero-ladrillo es superior en los morteros reciclados siendo los áridos procedentes de la planta de reciclaje los que mejor adherencia presentan.

Seung-Tae-Lee [9] estudio la influencia de la arena reciclada procedente de demoliciones de estructuras de hormigón en presencia de sulfato de magnesio. Los resultados obtenidos muestran que hasta el 50% de sustitución los morteros reciclados soportan un ambiente severo en presencia de sulfato de magnesio.

También destacar las investigaciones de Jiménez et al. [10], incorporando residuo cerámico hasta en un 40% de sustitución en la fabricación de morteros reciclados y de Miranda et al [11] [12], analizando la influencia en algunas propiedades la incorporación de áridos reciclados de diferente naturaleza.

El objetivo principal de este trabajo consiste en caracterizar la fracción fina del árido reciclado y estudiar el comportamiento y las propiedades más relevantes en los morteros de albañilería, al sustituir parte de la arena convencional por arena reciclada en diferentes porcentajes. Para ello, se recogieron muestras de RCD's procedentes de dos centrales de reciclado situadas en la Comunidad de Madrid. Dos de ellas, pertenecen a líneas de reciclado de hormigón y la tercera a la línea de reciclaje cerámica.

2.- Materiales y parte experimental.

En el desarrollo de este estudio se han utilizado los materiales básicos en la elaboración de los morteros como son: cemento, arena y agua, así como el empleo de arenas recicladas procedentes de dos centrales diferentes situadas en la Comunidad de Madrid. A continuación se describe las características de cada uno de ellos.

2.1.- Materiales.

2.1.1.-Áridos.

La arena empleada para la fabricación de morteros ha sido arena normalizada, la cual, viene directamente empaquetada por el Instituto Eduardo Torroja perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas en bolsas de 1350 gramos. En las Tablas (1) y (2) se muestra su composición y granulometría.

Composición	
SiO ₂	≥ 98%
Humedad	< 0,20%

Tabla1. Composición arena normalizada.

Granulometría	
Tamiz Luz de malla(mm)	Residuo Acumulado (%)
2	0
1,6	7 ± 5
1	33 ± 5
0,5	67 ± 5
0,16	87 ± 5
0,08	99 ± 5

Tabla2. Granulometría de la arena normalizada.

Las arenas recicladas empleadas para el desarrollo de este trabajo proceden de dos plantas de tratamiento integral de Residuos de Construcción y Demolición (RCDs): “La Palentina” y “El Molar” (fig. 1). Se recogieron muestras de 3 tipos de arenas recicladas diferentes: Las arenas 1 y 2 proceden de la planta “La Palentina”, correspondientes a las líneas de reciclaje de residuos cerámicos y hormigones respectivamente. La arena 3 procedente de la planta “El Molar”, línea de reciclaje de residuos de hormigón.



fig. 1. Plantas de reciclaje “La Palentina” y “El Molar”.

2.1.2.- Conglomerante.

El conglomerante utilizado fue el cemento CEM II/B – L 32,5 N apto para morteros y albañilería en general. Las propiedades de dicho cemento quedan recogidas en la norma UNE-EN 197-1 [13] y en la instrucción para la recepción de cementos RC-08 [14]. La (Tabla 3) presenta algunas de las características de este cemento.

Composición de la masa	
Clinker	65-79%
Caliza	21-35%
Componentes minoritarios	0-0,5%
Características químicas	
Sulfato	≤ 3,5%
Cloruros	≤ 0,10%
Cromo(IV) solubles en agua	≤ 2 ppm.
Características físicas	
Inicio de fraguado ≥ 75 minutos	
Expansión (Le Chatelier) ≤ 10 mm	
Características mecánicas	
Resistencia a compresión a 7 días	≥ 16 MPa
Resistencia a compresión a 28 días	≥ 32,5 MPa
	≤ 52,5 MPa

Tabla 3. Propiedades del cemento CEM II/B-L 32,5 N

2.1.3.- Aditivo.

En la elaboración de las amasadas donde el porcentaje de sustitución de arena normalizada por arena reciclada ha sido superior al 10%, se utilizó el aditivo superplastificante Rheobuild 2100, de la empresa BASF. Dicho aditivo, es un producto líquido a base de polímeros sintéticos de melamina que está exento de sustancias que pudieran producir efectos negativos sobre los morteros. Rheobuild 2100, ha sido prescrito por el departamento técnico de la empresa BASF para mejorar las consistencias obtenidas de los morteros de cemento elaborados con arenas recicladas.

2.2.- Caracterización y Metodología de ensayo.

Para determinar la granulometría de las arenas recicladas se han seguido las prescripciones recogidas en la norma UNE-EN-933-2 [15] y UNE-EN-933-1 "Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos", concretamente en la parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. "Método del tamizado" [16]. Los resultados obtenidos se recogen en la (fig. 2)

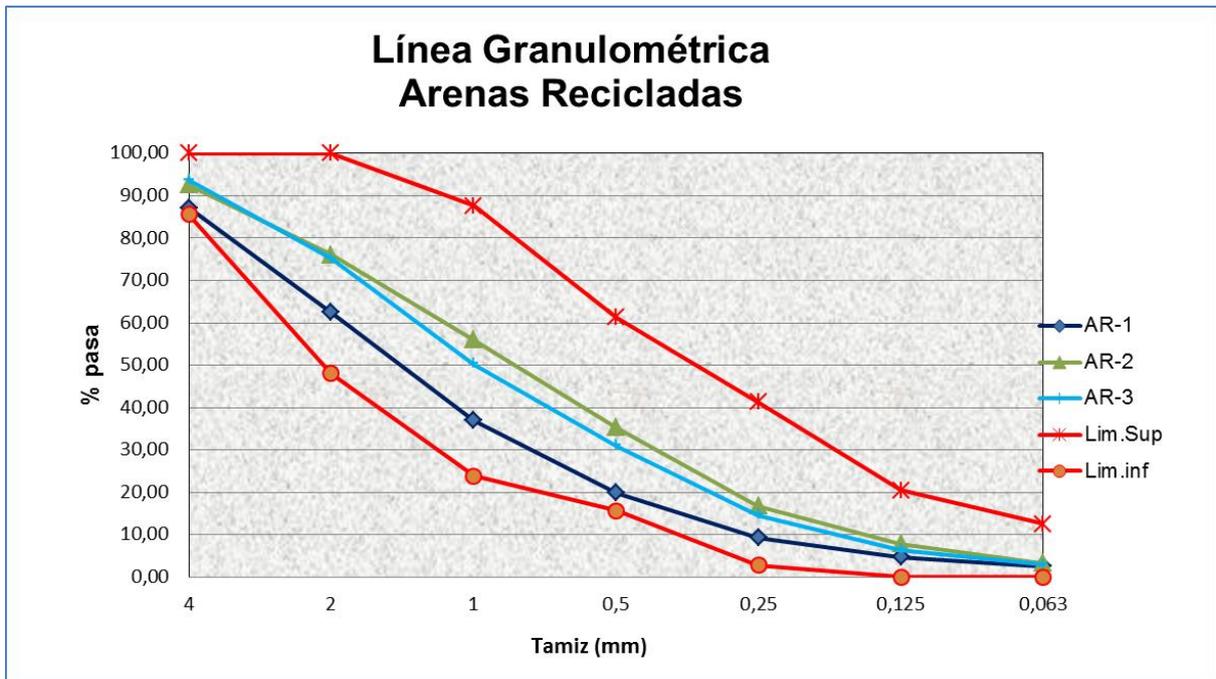


fig. 2. Línea granulométrica de las arenas recicladas, en comparación con los límites de la NBE-FL 90, adaptados a la serie de tamices de la UNE-EN-933-2.

Como puede observarse en la (fig. 2), la línea granulométrica de las arenas recicladas se encuentran dentro de los límites establecidos por la Norma Básica NBE-FL 90 [17]. Además, no existe ninguna partícula de tamaño superior a 8mm (2D), y las partículas de tamaño mayor a 5,6 mm (1,4D), no superan los valores mayores al 5%. El porcentaje que pasa por el tamiz 0,063, no supera los valores límite fijados por la Norma UNE-EN-13139 [18], del 5% para morteros para revoco y enlucido y del 8% para morteros para albañilería respectivamente. También se ha obtenido el módulo de finura, la densidad de conjunto, la densidad relativa y la absorción de las tres arenas recicladas. La (Tabla 4) recoge los resultados obtenidos:

Características de las Arenas Recicladas				
Ensayo	Norma	AR 1	AR 2	AR 3
Contenido de finos	UNE-EN-933-1	2,53%	3,22%	2,91%
Forma de las partículas	UNE-EN-13139	No relevante	No relevante	No relevante
Módulo de Finura	UNE-EN-13139	4,77%	4,12%	4,26%
Dens. Conjunto(gr/cm^3)	UNE-EN-1097-3	1,21	1,73	1,52
Dens. Relativa(gr/cm^3)	UNE-EN-1097-6	2,34	2,74	2,66
Absorción	UNE-EN-1097-6	5,21	4,49	4,63

Tabla 4. Resumen características Arenas Recicladas.

Tanto los morteros de referencia como los morteros elaborados con arenas recicladas han sido elaborados con la dosificación: 1:3:0,5(cemento, arena y agua respectivamente) y fabricados con la misma técnica y maquinaria. El cemento utilizado para las diferentes amasadas ha sido el CEM II/B-L 32,5 N indicado para morteros y albañilería en general. Se han propuesto cinco porcentajes de sustitución de arena natural por arena reciclada para los tres tipos de arenas estudiadas: 10%, 15%,25%,35% y 45%. Se estructuró el diseño de mezclas en dos niveles, el primero de ellos sin el empleo de aditivos. En el segundo, se consideró la

utilización del aditivo Rheobuild 2100 en la dosificación establecida por el fabricante y mezclándose previamente con el agua de amasado, para conseguir que la trabajabilidad de los morteros reciclados fuera similar a los morteros de referencia. En el laboratorio, las arenas recicladas obtenidas de las Plantas de Tratamiento fueron tamizadas, eliminando así, el material retenido en el tamiz 4mm y el material pasante por el tamiz 0,063mm.

El programa de ensayos se organizó en dos fases: una primera fase donde se realizaron ensayos de consistencia, resistencia a flexión, resistencia a compresión y un análisis de las curvas granulométricas de las arenas, con los diferentes porcentajes de sustitución de arena normalizada por arena reciclada. En la segunda fase se analizaron los ensayos de adherencia y retracción de las amasadas que mejores resultados obtuvieron en la primera fase del programa de ensayos.

2.3.- Resultados y discusión.

Acorde con los resultados obtenidos en la (Tabla 4), la densidad relativa es similar para los áridos reciclados y superior a la densidad de la arena de referencia, por lo que podemos deducir que los morteros reciclados serán más pesados que los morteros de referencia. El coeficiente de absorción de agua de las arenas recicladas es mucho mayor, como recogen otros autores [8] [12]. Esta característica puede influir negativamente en las prestaciones mecánicas, debido a los huecos que pueden crearse en el interior del material tras la evaporación del agua. También afecta a la trabajabilidad de los morteros reciclados haciendo necesario el uso de aditivos para conseguir consistencias parecidas a los morteros de referencia.

Como se puede observar en la (fig.3), a medida que se incrementa el porcentaje de sustitución de arena normalizada por arena reciclada, fue necesario incrementar el % de aditivo para conseguir valores de consistencia comprendidos entre 160 y 185 mm. Debido a esto, el porcentaje máximo de sustitución se fijó en un 45% para los tres tipos de morteros reciclados empleando un 4% de aditivo sobre peso del cemento. El código empleado para la identificación de las amasadas es el siguiente: **A-N^o-X%-Y%**, donde: A= Arena reciclada, X%= Porcentaje de sustitución de arena reciclada, Y%= Porcentaje de aditivo empleado sobre peso del cemento y N^o= indica la Planta de Tratamiento de donde proceden las arenas. 1 y 2 para línea de residuos cerámicos y hormigón de la Planta “La Palentina” respectivamente, y 3 para la línea de residuos de hormigón “El Molar”.

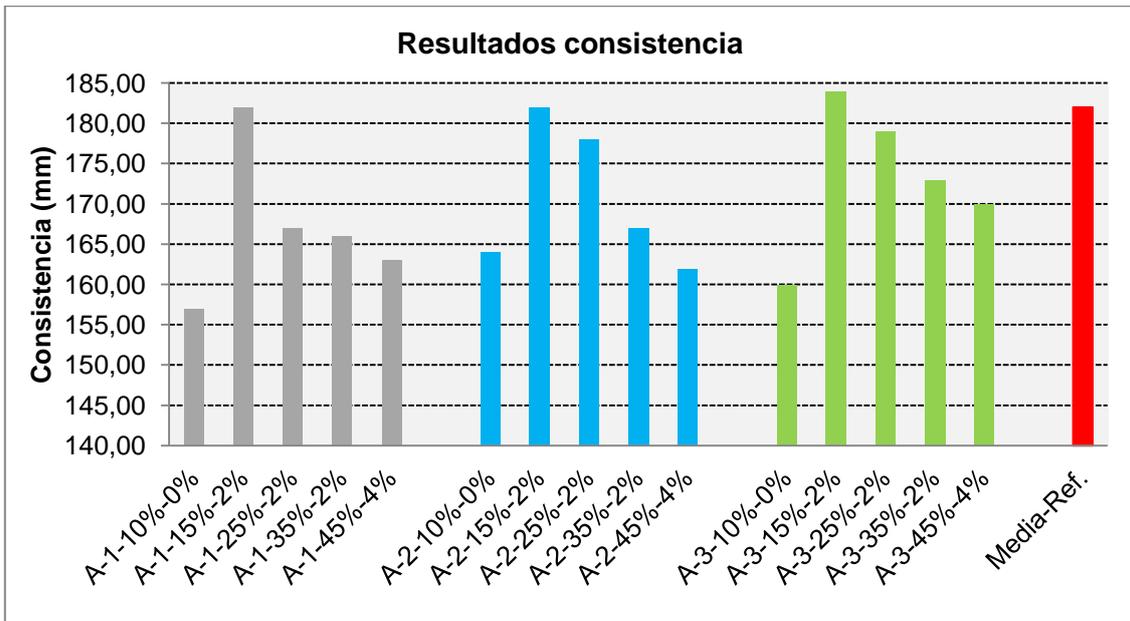


fig.3 Resultado de ensayo de consistencia.

Con relación a las resistencias mecánicas, se puede observar que los resultados de resistencia a compresión (fig.4) son inferiores a los obtenidos en las probetas de referencia en los tres tipos de morteros reciclados. Sin embargo, no es necesario llevar a cabo un aumento en la cantidad de cemento, ya que dichos valores cumplen con lo exigido en la Norma UNE-EN-998-2 [19].

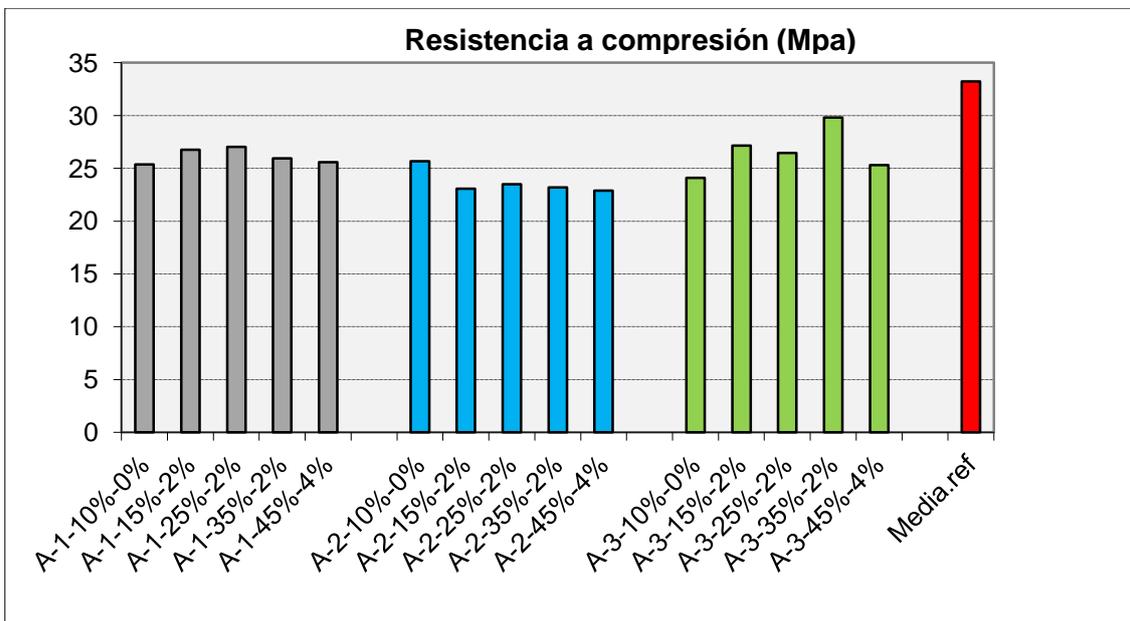


fig 4. Resultado ensayo a compresión.

Por otro lado, los resultados de resistencia a flexión (fig.5) muestran valores superiores a los de referencia, destacando las amasadas realizadas con la arena reciclada 3 perteneciente a la Planta de Tratamiento de “El Molar”, llegando a alcanzar un valor de más de 6 Mpa en media.

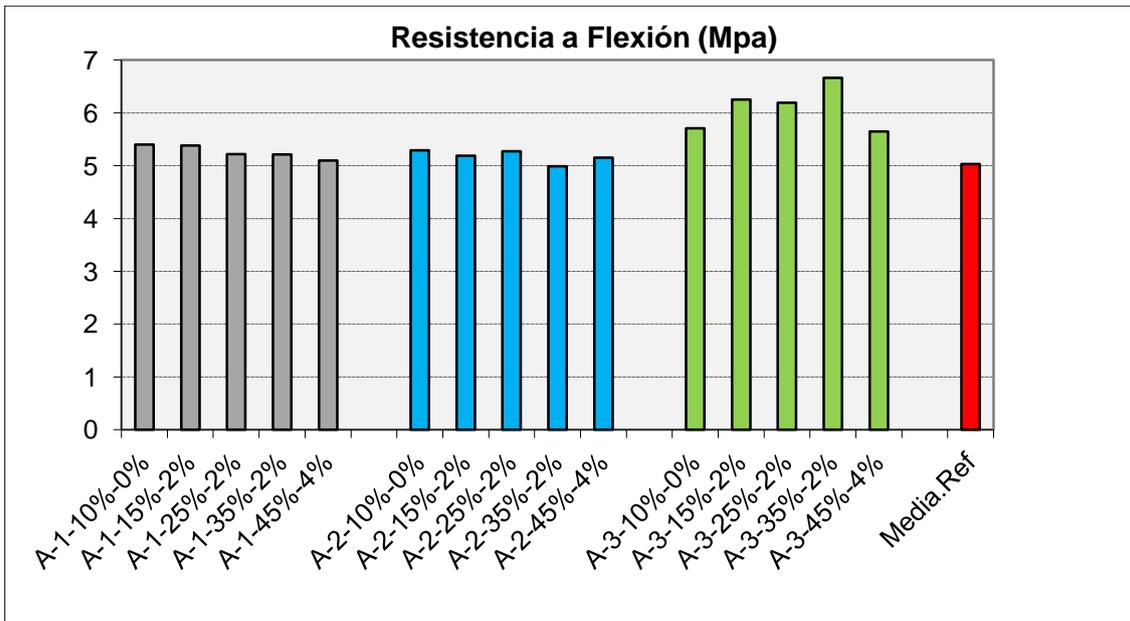


fig.5. Resultado ensayo a flexión.

En la segunda fase de ensayos, se realizaron ensayos de adherencia sobre rasillón cerámico de 400x500x50 mm, con un diámetro de probetas de 50 mm y un espesor de revestimiento de 10 mm. Los resultados obtenidos se muestran en la (Tabla 5):

Amasada	Resistencia a la adhesión	Tipo de Rotura ¹
	Valor medio (N/mm ²)	
Referencia	0,57	A 100
A-1-15%-2%	0,49	A 100
A-1-25%-2%	0,51	A 100
A-1-45%-4%	0,4	A 100
A-2-10%-0%	0,45	A 100
A-2-25%-2%	0,54	A 100
A-2-45%-4%	0,55	A 100
A-3-10%-0%	0,47	A 100
A-3-25%-2%	0,56	A 100
A-3-45%-4%	0,56	A 100

Nota 1: Tipo de rotura y porcentaje de la superficie que afecta.

Tabla 5. Resultados del ensayo de adherencia.

Los ensayos de retracción realizados muestran valores superiores en los tres tipos de morteros reciclados estudiados. Este ensayo tiene por objeto medir los movimientos que sufre el mortero durante las primeras 24 horas realizando lecturas cada 30 minutos. En la (Tabla 6) se muestran los resultados obtenidos:

Amasada	Resistencia a la adhesión	Tipo de Rotura ¹
	Valor medio (N/mm ²)	
Referencia	0,57	A 100
A-1-15%-2%	0,49	A 100
A-1-25%-2%	0,51	A 100
A-1-45%-4%	0,4	A 100
A-2-10%-0%	0,45	A 100
A-2-25%-2%	0,54	A 100
A-2-45%-4%	0,55	A 100
A-3-10%-0%	0,47	A 100
A-3-25%-2%	0,56	A 100
A-3-45%-4%	0,56	A 100

Nota 1: Tipo de rotura y porcentaje de la superficie que afecta.

Tabla 6. Resultado ensayo de retracción.

2.3.- Conclusiones.

En este trabajo se ha planteado un programa experimental con el fin de estudiar como afecta la incorporación de áridos reciclados a las propiedades de los morteros de cemento. A continuación, se indican las conclusiones más importantes obtenidas de dicho estudio:

- Las características de los tres tipos de arenas recicladas son su elevado contenido en finos y de partículas retenidas en el tamiz 4mm, así como una elevada absorción de agua. Las líneas granulométricas están dentro de los límites marcados por la NBE-FL 90 [17] previa adaptación de los tamices a los reflejados en la Norma UNE-EN-933-2 [15].
- A partir del 10% de sustitución en cualquiera de las tres arenas recicladas, ha sido necesario incorporar aditivo para obtener consistencias que permitan morteros reciclados trabajables.
- Las prestaciones mecánicas de los morteros reciclados son inferiores a la de los morteros de referencia en el caso de la compresión, y superiores en el caso de la flexión para los tres tipos de arenas recicladas. En el caso de la resistencia a la compresión, las resistencias obtenidas son suficientes para el cumplimiento de las normas EN para su utilización en obra, tanto como morteros de albañilería como morteros para revoco y enlucido.
- En los morteros de cemento elaborados con arenas recicladas, la resistencia a la adhesión es inferior que en los morteros de referencia. La arena 1, perteneciente a la línea de reciclaje cerámico es la que presenta valores más bajos. Sin embargo, las arenas 2 y 3 que pertenecen a la línea de reciclaje de hormigón presentan valores de resistencia a la adhesión muy próximos a los morteros de referencia.
- Debido al buen comportamiento a flexión y adherencia que presentan los morteros de cemento elaborados con arenas recicladas, pueden ser utilizados para revestimientos continuos en fachadas.
- Los valores de retracción obtenidos en los morteros reciclados muestran valores superiores a los morteros de referencia, sin embargo, dichos valores se encuentran dentro de los límites establecidos por los fabricantes.
- En principio, la colocación en obra sería igual a la de los morteros tradicionales, teniendo en cuenta el % de humedad

- Como conclusión final, los morteros de cemento pueden incorporar hasta un 45% de arena reciclada de los tres tipos estudiados, sin evidenciar pérdidas significativas en los ensayos realizados en este trabajo.

REFERENCIAS.

- [1] Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19/11/2008, sobre residuos.
- [2] Ley 10/1998 de 21 de abril de residuos. BOE Nº 96 de 22/04.
- [3] Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) para el periodo 2008-2015. Resolución de 20 de Enero de 2009. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. BOE Nº 49 de 26/02.
- [4] COMISIÓN PERMANENTE DEL HORMIGÓN. Instrucción de hormigón estructural. EHE-08. Madrid: Ministerio de Fomento, 2008.
- [5] Álvarez Cabrera, J.L, Fernández, A. (1997), Morteros de albañilería con escombros de demolición. *Materiales de Construcción*. 47, 43-48.
- [6] Mesbah, H.A, Buyle-Bodin, F. (1999), Efficiency of polypropylene and metallic fibres on control of shrinkage and cracking of recycled aggregate mortars. *Construction and Building Materials*. 13, 439-447.
- [7] Vegas, I, Azkarate, I, Juarrero, A, Frias, M. (2009), Design and performance of masonry mortars made with recycled concrete aggregates. *Materiales de Construcción*. 59, 5-18.
- [8] Corinaldesi, V, Moriconi, G. (2009), Behaviour of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate. *Construction and Building Materials*. 23, 289-294.
- [9] Seung-Tae, L. (2009), Influence of recycled aggregates on the resistance of mortars to magnesium sulfate attack. *Waste Management*. 29, 2385-2391.
- [10] Jiménez, J.R, Ayuso, J, López, M, Fernández, J.M, De Brito, J. (2013), Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. *Construction and Building Materials*. 40, 679-690.
- [11] Miranda, L.F.R, Selmo, S.M.S. (2006), Analysis of the effect of materials finer than 75 µm on mortar properties. *Construction and Building Materials*. 20, 615-624.
- [12] Miranda, L.F.R, Selmo, S.M.S. (2006), Analysis of the effect of materials finer than 75 µm under accelerated aging performance. *Construction and Building Materials*. 20, 625-633.
- [13] AENOR. Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes. UNE-EN 197-1. Madrid: AENOR, 2000.
- [14] Comisión permanente del cemento. Instrucción para la recepción de cementos. RC-08. Madrid: Ministerio de Fomento, 2008.
- [15] Norma Española UNE-EN 933-2. Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas. 1995.
- [16] Norma Española 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. 1997.
- [17] Norma Básica de la Edificación NBE-FL 90 "muros resistentes de fábrica de ladrillo". RD 1723/1990 de 20 de diciembre, BOE Nº 198 de 04/01. 1991.
- [18] AENOR. Áridos para morteros. UNE- EN 13139. Madrid: AENOR, 2004.
- [19] UNE-EN 998-2: Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería, 2004.