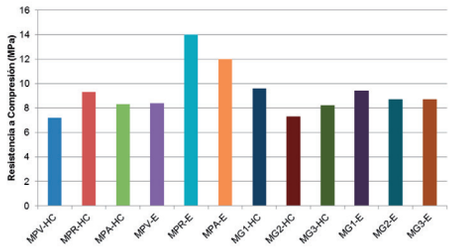
Morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados mixtos y escoria blanca



Open innovation in research and technology organisations: an exploration of the phenomenon

Yosniel Soler-Mendoza, Amaury Sosa-Gutiérrez, Geyne Tourón-Alonso e Idoia Arribas-García
TECNALIA. Parque Tecnológico de Bizkaia. Astondo Bidea. Edificio 700 - 48160 Derio, Vizcaya (España).

DOI: http://dx.doi.org/10.6036/9167 | Recibido: 15/03/2019 • Inicio Evaluación: 21/03/2019 • Aceptado: 27/06/2019

ABSTRACT

- The objective of this paper is to study the effect of the partial substitution of the most used natural aggregates in the western region of Cuba, specifically in Havana, by mixed recycled aggregates and the total substitution of the natural filler, lime hydrate, by ladle furnace slag, in the elaboration of recycled masonry mortars. The properties provided by recycled mortars are compared to those offered by a standard mortar, made with natural sand and natural filler, and with standard regulation these products at Cuba. The results achieved are satisfactory, since the mortars made with recycled materials meet the requirements required for masonry mortars type III (suitable laying and coating mortars for use on the ground level).
- **Key Words:** mortars, LF slag, C&D recycled aggregates.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es estudiar el efecto de la sustitución de los áridos naturales más usados en la región occidental de Cuba, específicamente, en la Habana, por áridos reciclados mixtos y la sustitución total del filler natural, hidrato de cal, por escoria blanca granulada cristalina, en la elaboración de morteros de albañilería. Las propiedades brindadas por los morteros reciclados se comparan con las ofrecidas por un mortero patrón, fabricado con arena natural y filler natural (hidrato de cal), y a su vez con las establecidas en la norma cubana que regula estos productos. Los resultados alcanzados son satisfactorios, ya que los morteros elaborados con materiales reciclados cumplen los requisitos exigidos por la norma cubana para su uso como morteros de albañilería tipo III (morteros de colocación y revestimiento adecuados para su utilización sobre el nivel del terreno.

Palabras Clave: morteros, escorias blancas o escorias LF, áridos reciclados RCDs.

1. INTRODUCCIÓN

En La Habana existe gran variedad de tipologías constructivas que refieren a diferentes épocas; un porcentaje importante de ellas han cumplido su ciclo de servicio y se encuentran en un mal estado de conservación. A partir de datos contabilizados por la Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI), se estima que en La Habana se generan aproximadamente 1000 m³ diarios de residuos de construcción y demolición (RCD), la mayor parte de estos RCD se depositan en vertederos comunes lo que provoca su contaminación e imposibilita su reutilización; esta situación se debe fundamentalmente a la falta de una infraestructura tecnológica adecuada y a deficientes políticas en el manejo de estos residuos [1].

La Habana, capital de los RCD, posee en su gran mayoría residuos de tipo mixto, debido a la ausencia de demoliciones selectivas y controladas. Los RCD resultantes contienen materiales de diferente naturaleza (cerámico, hormigón, morteros, yeso, etc.), lo que demanda el desarrollo de aplicaciones para su tratamiento que, además, contribuyan al desarrollo sostenible de la ciudad [2]. El objetivo de la presente investigación se basa en desarrollar aplicaciones prácticas que permitan el reciclaje a escala local e industrial de los RCD generados principalmente en La Habana. La iniciativa, contribuirá a reducir el impacto negativo ambiental que ocasiona la deposición de estos residuos en los vertederos y el transporte de materiales naturales desde las canteras con su posterior alivio a la explotación de las mismas, asimismo y facilitará una producción local e industrial de constituyentes y materiales de construcción. El artículo No. 235 de los Lineamientos de la Política Económica y Social del país, plantea promover la intensificación del reciclaje y el aumento del valor añadido de los productos recuperados, y priorizar actividades de mayor impacto económico con menos recursos.

En paralelo, La Habana se caracteriza por la existencia de una industria productora de acero, conocida como Antillana de Acero. Ésta, genera elevados volúmenes de residuos a partir de su producción, uno de ellos es la escoria blanca producida en la etapa de afino (E), y que hasta la fecha no se ha encontrado una aplicación práctica en la que tal residuo se pueda emplear. A este panorama se suma el hecho de que las canteras de áridos naturales calizos cercanos a la ciudad se encuentran sobreexplotadas y muchas de ellas comienzan a agotarse, esto provoca que para abastecer a la capital se emplee mayor cantidad recursos, lo que induce el aumento en coste de transporte.

Nuestro país no cuenta con una industria de materiales de construcción actualizada tecnológicamente, por lo que la fabricación in-situ de morteros de albañilería es común hasta en las principales obras que actualmente se acometen. Basado en ello, no es descabellado pensar en el desarrollo de la industria a partir de los RCD, más cuando se conoce que los morteros de albañilería son de los materiales de construcción que más áridos y filler demandan en su fabricación. Estos son ampliamente usados en las

construcciones, tanto como morteros de revoco como morteros de juntas para la colocación de ladrillos y bloques en paredes de mampostería. Las prestaciones que deben cumplir estos morteros se especifican en la correspondiente norma de aplicación.

En la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE) se investigó en profundidad los morteros de albañilería y estructurales a partir del proyecto "Manejo de los residuos de demolición y construcción de la comunidad cubana" entre la CUJAE y la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) [3-4]. La producción de áridos reciclados para la construcción toma cada vez mayor fuerza, tanto para la industria como para los investigadores [4]. Basado en ello, y en muchas de las imposiciones gubernamentales que obligan, en el caso de los países más desarrollados, a reusar entre el 60% y el 80% de los residuos que se generen producto de la demolición, la industria de la construcción y los centros de investigación han trabajan conjuntamente para lograr es objetivo.

En el caso de los áridos reciclados se ha demostrado, la capacidad que tienen estos de mejorar las prestaciones de los morteros en cuanto a retención de agua debido a la cantidad de finos que aportan a la mezcla [5]. En el mismo trabajo se infirió que los áridos reciclados no influyen significativamente en las resistencias mecánicas de los morteros y la absorción de agua. Por otra parte, Luciana Restuccia y otros, demostraron que los morteros fabricados con mezclas 50/50 árido fino reciclado y natural sufren una ligera reducción en la resistencia a la compresión y flexión de aproximadamente el 9%, y en la energía de fractura de aproximadamente el 6% y, al mismo tiempo, un aumento en el módulo de elasticidad de aproximadamente el 10% con respecto a especímenes de mortero fabricado con árido natural [6]. También, P. Saiz-Martínez y otros; dedujeron que, los morteros de albañilería a base cemento, pueden tener incorporado hasta un 45% de arena reciclada para una dosificación 1:3:0,5 sin que las propiedades ensayadas se vean afectadas con pérdidas significativas de sus prestaciones en comparación con los áridos naturales. [7]

Por otra parte, el empleo de la E como material de relleno como reemplazo del hidróxido de calcio (HC) en la producción de morteros de albañilería parece ser una solución a la necesidad de HC que presenta el país, sumado a ello, las propiedades que esta presenta [8-10] infieren que pueden ser usadas.

Recientemente se ha demostrado la capacidad hidráulica que presentan las E [8-10], por lo que emplearla en la fabricación de morteros como material de relleno juega un papel fundamental para la industria de la construcción, se ha investigado los morteros de albañilería fabricados con diferentes rellenos, entre ellos la escoria blanca, y los resultados obtenidos demostraron que los morteros de albañilería fabricados con una combinación de agregados finos reciclados y cualquiera de los tres tipos de relleno mencionados no solo cumplían con los requisitos establecidos en la regulación cubana, sino que en la mayoría de los casos las propiedades que se obtuvieron de estos morteros eran mejores que los morteros hechos con árido natural. [11]

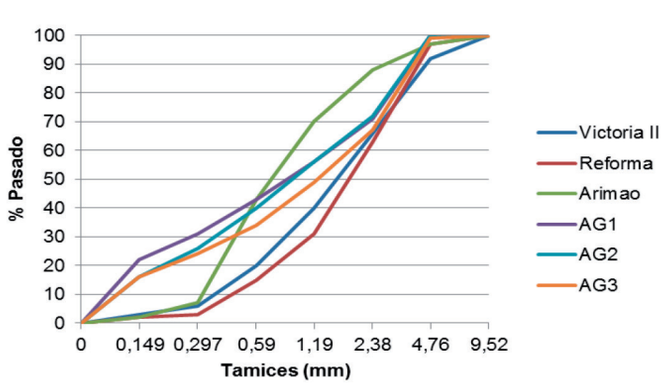


Fig. 1: Distribución granulométrica de los áridos estudiados

A continuación, se presentan las propiedades para los morteros fabricados con árido reciclado y se comparan con las ofrecidas por un mortero patrón, fabricado con arena natural e hidrato de cal, comparando a su vez con las establecidas en la norma cubana que regula estos productos. También se evalúa las propiedades de los morteros fabricados con escoria blanca como sustituto del HC.

2. MATERIALES Y DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1. MATERIALES

2.1.1. Residuos de construcción y demolición (RCD)

Los residuos de construcción y demolición (RCD) utilizados provienen del municipio Guanabacoa, municipio de la Habana donde está previsto su tratamiento y posterior empleo como áridos para la fabricación de morteros de albañilería, reduciendo así los costes de transporte, y por tanto la huella de carbono. En este municipio, según cifras estimadas a partir de datos contabilizados por la Oficina Nacional de Estadística (www.one.cu), se generan 40 m^3 diarios de estos residuos. La mayor parte de los RCD generados se vierten en vertederos comunes, imposibilitando su reciclaje.

En la presente investigación se emplean tres fuentes diferentes de residuos. Los RCD utilizados proceden de los escombros obtenidos de viviendas con las tipologías más comunes existentes en el municipio Guanabacoa. El árido reciclado AG1, procede de una vivienda de cubierta de tejas cerámicas y paredes de mampuesto; En cuanto al árido reciclado AG2, procede de una vivienda de cubierta de viga y losa, y paredes de ladrillos; Por último, el árido reciclado AG3 procede de una vivienda de cubierta de hormigón armado y paredes de mampostería con bloques de hormigón.

Los diferentes áridos reciclados empleados en el presente estudio se obtuvieron a partir de la trituración de la fracción gruesa (> 4,76mm) de los RCD. Para la trituración se empleó una máquina de mandíbulas con una abertura de entrada de 250 mm de largo y 125 mm de ancho, y una abertura de salida máxima de 10 mm, y una mínima de 2mm. Para la fabricación de los morteros, se utilizó la fracción inferior a 4,76mm.

2.1.2. Escoria Blanca

En el presente trabajo se emplea escoria blanca (E), originada como residuo de la producción del acero de la industria siderúrgica como filler. Este material, de acuerdo con las conclusiones obtenidas por P.K Metha, y P Monteriro [12] y según lo descrito en la ASTM C 618 no se clasifica como un material puzolánico sino como una adición mineral, compuesta fundamentalmente por un aproximado de 47% de CaO, un 27,5% de SiO_2, un 13% de MgO y un 9% de Al_2O_3. La misma presenta las siguientes propiedades fisicas: Densidad 3,20 kg/dm^3, Masa volumétrica suelta 1,23 kg/dm^3, Masa volumétrica compactada 1.42 kg/dm^3, Material más fino que 75 µm 63% y Material más fino que 45 µm 37%.

2.1.3. Arena Natural

Además de las arenas recicladas, se utilizan tres tipos de arenas naturales, una procedente de la cantera Victoria II ubicada en el municipio Guanabacoa de La Habana, otra procedente de la cantera de Arimao en Cienfuegos (a unos 240 km de La Habana), y la tercera de la cantera de La Reforma, Pinar del Río (a 120 km de La Habana). Tanto la arena de Victoria II como la arena de La Reforma son de

Propiedad	Arena Reciclada			Arena Natural		
	AG1	AG2	AG3	Victoria II	Reforma	Arimao
Densidad (kg/dm^3)	2,13	2,09	2,11	2,42	2,58	2,6
Absorción de agua (%)	4,71	7,45	6,27	3,77	2,55	1,3
Masa volumétrica suelta (kg/dm^3)	1,25	1,16	1,29	1,44	1,49	1,48
Módulo de finura	2,78	2,92	3,12	3,74	3,89	2,93
Material más fino que 75 µm (%)	13	12	8	5	3	1

Tabla I: Propiedades físicas de las arenas naturales y recicladas

origen calizo y se obtuvieron a partir de la trituración de la roca en las propias canteras, la arena de Arimao es una arena natural de río de origen Ígneo-metamórfica. En el caso de este árido en particular, se conoce que tiene potencial reactivo con los álcalis del cemento, por lo tanto, su empleo se limita a lugares donde no existan altas temperaturas y procesos cíclicos de humedecimiento y secado.

La Figura 1 muestra la curva granulométrica de las arenas naturales y recicladas para facilitar la comparación entre ambas. El ensayo se lleva a cabo según lo establecido en la norma cubana NC 178: 2002.

La Tabla I muestra las propiedades físicas de las arenas empleados. La determinación de la densidad y la absorción de agua, las determinaciones de la masa volumétrica suelta y el material más fino que 75 µm, se calculan según las NC 177, 181 y 182: 2002 respectivamente.

El módulo de finura de las arenas recicladas es menor que en el caso de las arenas naturales, la mayor cantidad de finos presentes en AG1, AG2 y AG3 conduce a utilizar menores proporciones de filler en los morteros reciclados que en los morteros naturales, como se expone en el apartado 2.2. Es necesario destacar el elevado módulo de finura de las arenas naturales Victoria II y Reforma, tal y como se muestra en la Tabla IV. Si el contenido de finos es muy bajo puede influir negativamente en las propiedades de los morteros, dado que, la pasta no es suficiente para rellenar los huecos entre las partículas de arena, comprometiendo las prestaciones mecánicas de los morteros.

La determinación de la densidad y la absorción de agua se llevan a cabo de acuerdo a lo descrito en la NC 177: 2002. Se emplea NC 181: 2002 para la determinación de la masa volumétrica suelta y la NC 182: 2002 para determinar el porcentaje de material menor de 75 µm.

2.1.4. Filler Natural

El filler natural utilizado en el estudio fue el hidrato de cal (HC). Este material es el recomendado por la norma cubana para su empleo en morteros de albañilería de arena natural. El mismo presenta las siguientes propiedades: Densidad 2,1kg/dm^3, Masa volumétrica suelta 0,52 kg/dm^3, Masa volumétrica compactada 0,571kg/dm^3, Material más fino que 75 µm 88% y Material más fino que 45 µm 27%.

2.1.5. Cemento

Se utilizó un cemento Portland P-350 Mariel, con densidad de 3,12 g/cm^3, superficie específica de 3.089 g/cm^2, y resistencia a compresión a 28 días de 35 MPa. Compuesto aproximadamente por un 61,11% de CaO, un 21.34% de SiO_2, un 1,68% de MgO, un 5,89% de Al_2O_3.

2.2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se elaboran morteros con áridos reciclados y morteros con áridos naturales, ambos tipos con una consistencia entre 185 mm y 195mm, y se caracterizan en estado fresco determinando la retención de agua. Asimismo, se analizaron en estado endurecido cinco propiedades de los morteros, resistencia a flexión y compresión, resistencia a la adherencia por tracción y absorción capilar. Para ello, se fabrican series de 15 probetas prismáticas de 40mmx40mmx160mm, se desmoldan a las 24 horas y se curan en un ambiente húmedo. La selección de las probetas para cada ensayo se realiza de forma aleatoria, empleando 3 probetas para cada ensayo. Todo esto se lleva a cabo según la NC 169-173:2002. Las dosificaciones tratadas responden a morteros de albañilería, que son los morteros más empleados tanto en la colocación de elementos (ladrillos, bloques, rasillas, celosías, etc) como en el revestimiento de edificaciones (salpicado, revoco grueso, revoco fino, revoco directo, enchapes, etc). De este modo se selecciona la dosificación 1:5:1 para morteros de colocación en exterior y en colocación de bloques o ladrillos para muro no portante y la dosificación 1:4:2 para morteros de colocación (bloques, ladrillos, celosías) en muro no portante exterior.

2.2.1. Morteros elaborados con áridos reciclados

Se fabrican 6 dosificaciones diferentes de morteros reciclados, utilizando los 3 tipos de arenas recicladas (AG1, AG2 y AG3) y los dos tipos de filler: hidrato de cal (HC) y escoria blanca (E), como se muestra en la Tabla II.

Nomenclatura	Dosificación Volumétrica	Árido	Filler	a/c
MG1-HC	1:5:1	AG1	Hidrato de Cal	1,77
MG2-HC	1:5:1	AG2	Hidrato de Cal	1,79
MG3-HC	1:5:1	AG3	Hidrato de Cal	1,66
MG1-E	1:5:1	AG1	Escoria blanca	1,60
MG2-E	1:5:1	AG2	Escoria blanca	1,63
MG3-E	1:5:1	AG3	Escoria blanca	1,61

Tabla II: Nomenclatura y dosificación de los morteros reciclados

2.2.2. Morteros elaborados con áridos naturales

De forma similar a lo realizado con los morteros reciclados, se fabrican 6 dosificaciones diferentes de morteros con áridos naturales. Se utilizan tres arenas naturales (Victoria II, Reforma y

Nomenclatura	Dosificación Volumétrica	Árido	Filler	a/c
MPV-HC	1:4:2	Victoria II	Hidrato de Cal	1,32
MPR-HC	1:4:2	Reforma	Hidrato de Cal	1,30
MPA-HC	1:4:2	Arimao	Hidrato de Cal	1,28
MPV-E	1:4:2	Victoria II	Escoria blanca	1,28
MPR-E	1:4:2	Reforma	Escoria blanca	1,30
MPA-E	1:4:2	Arimao	Escoria blanca	1,32

Tabla III: Nomenclatura y dosificación de los morteros naturales

Arimao) y los dos tipos de filler, natural (Hidrato de Cal) y filler reciclado (Escoria Blanca), como se muestra en la Tabla III.

3. RESULTADOS

3.1. RETENCIÓN DE AGUA

La norma cubana recomienda un valor mínimo de retención de agua del 90%. En la Figura 2 se muestran los valores de retención de agua obtenidos tanto para los morteros reciclados como para los morteros fabricados con áridos naturales.

Para los morteros elaborados con áridos reciclados se utiliza una dosificación volumétrica 1:5:1. En estudios anteriores [2], se comprueba que esta dosificación es equivalente a la 1:4:2 establecida por la norma cubana para áridos naturales, pues el mayor contenido de finos de los áridos reciclados compensa la menor utilización de filler.

Las diferencias entre todos los morteros, incluso variando el tipo de arena y filler, son poco significativas. En la Figura 2, se puede observar que todos los morteros fabricados con áridos reciclados cumplen con el valor de retención de agua establecido por la norma cubana (90%). Por tanto, el alto contenido en finos de los áridos es fundamental para conseguir la retención de agua requerida. En cuanto a los morteros fabricados con áridos naturales, se observa que solo los que emplean hidrato de cal como filler cumplen con los requisitos de la citada norma. La incorporación de mayor proporción de filler en el caso de los morteros naturales (1:4:2) frente a los morteros reciclados (1:5:1), conlleva que el índice de retención de agua dependa en mayor medida del tipo de filler empleado, así se demostró en el trabajo desarrollado por [12]. Las partículas finas de áridos reciclados conducen eventualmente a un efecto de relleno que mejora el indice de retención de agua de los morteros en estado fresco [13]. Un aumento del contenido de árido reciclado dentro de las mezclas de mortero tuvo el efecto de producir un mayor valor de retención de agua. [14]

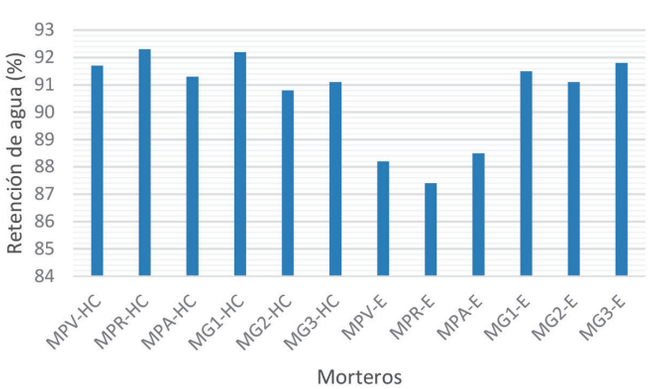


Fig. 2: Valores de retención de agua de los morteros fabricados con áridos reciclados y de los morteros fabricados con áridos naturales

3.2. ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD

Las propiedades hídricas de un material están estrechamente relacionadas con la durabilidad del mismo, ya que la mayor parte de los procesos de deterioro que pueden sufrir los materiales están íntimamente relacionados con la circulación de agua en el interior de la red porosa de los mismos. En la Figura 3a y Figura 3b, se muestran los valores de absorción capilar, según la norma cubana para los morteros con HC y E como filler, respectivamente. De acuerdo con los resultados obtenidos, el valor de absorción capilar final fue muy influenciado por la capacidad de absorción de agua de los áridos reciclados, un hecho que también ha sido verificado por otros investigadores [15] [16]. Para todos los casos los morteros que emplean áridos reciclados presentan una mayor absorción de agua a 7 días que los morteros fabricados con áridos naturales. La mayor cantidad de agua que demandan los morteros reciclados durante su fabricación, relación a/c, debido a la mayor porosidad que presentan los áridos reciclados, es el factor que provoca este comportamiento, ya que la evaporación del agua que queda libre en la mezcla ocasiona la formación de poros capilares. Conclusiones similares obtuvieron otros grupos de trabajo como Martínez y Etxeberria [17] y Martínez y Pavón [18], que emplearon dosificaciones similares (sustitución del 100% del árido natural por reciclado y filler calizo), consistencia similar y una relación a/c ligeramente inferior al presente trabajo. Otros autores como Pigueiras,[19] Mahamadou [20] y Etxeberria [21] estudiaron morteros estructurales y hormigones, respectivamente, con sustitución hasta el 100% del árido natural por árido reciclado, de igual forma, concluyeron que a mayor porcentaje de árido reciclado en la mezcla, mayor absorción tendrá el mortero u hormigón resultante, siendo mayoritario el efecto sobre esta propiedad el porcentaje del árido reciclado empleado respecto al efecto de las adiciones minerales que pudiera tener en estos casos la escoria, las cenizas de cáscaras de arroz y la microsílice.

Se pone de manifiesto la influencia del filler E sobre la absorción capilar de los morteros producidos, mostrando una capacidad de absorción capilar más alta que los morteros con cal hidratada (HC) en las primeras 50 horas, debido a la baja sorptividad de transferencia y las altas características de retención de agua de la cal hidratada [22]. Investigadores de la Universidad de Burgos [23] afirman que la incorporación de aditivos retenedores de agua o plastificantes aireantes reduciría la absorción de agua por capilaridad, siendo menos absorbentes cuanto mayor sea el porcentaje de poros de aire (Ø>10000 nm) en detrimento de la red capilar intersticial, reduciendo la resistencia a la transmisión del vapor de agua y por tanto mejorando la permeabilidad al vapor de agua de los morteros.

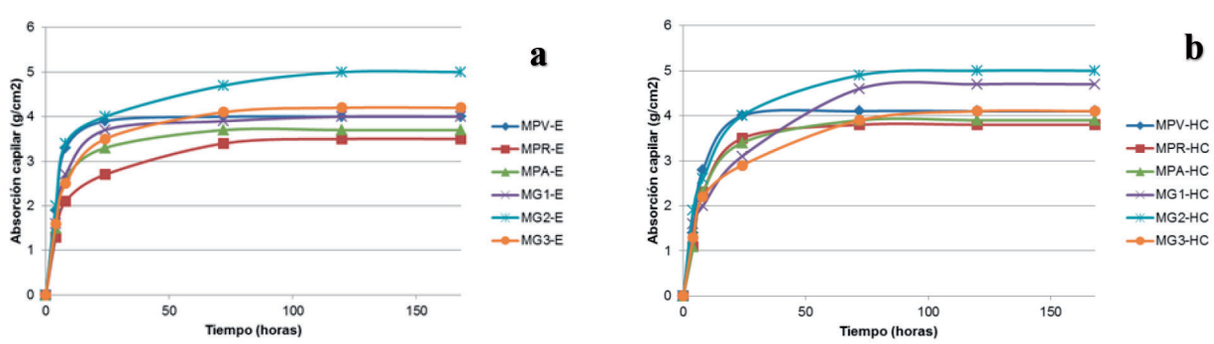


Fig. 3: Absorción Capilar de morteros patrones y reciclados elaborados con Escoria (a) y con Hidrato de cal (b)

3.3. RESISTENCIA A COMPRESIÓN

El mortero de albañilería tipo III (adecuado para su uso a nivel del suelo y vertical, como material de unión) debe tener un valor de resistencia a la compresión mínima de 5,2 MPa a los 28 días según lo establecido en la norma cubana. Como se muestra en la Fig. 4, todos los morteros alcanzaron el valor de resistencia mínimo requerido como mortero de albañilería tipo III. Los morteros reciclados lograron una resistencia a la compresión más baja que los de los morteros convencionales, un hecho también señalado por otros investigadores [23], [24], [25].

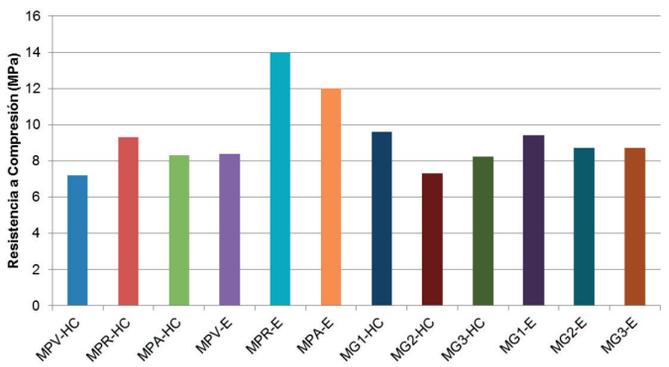


Fig. 4: Resistencia a compresión a los 28 días de los morteros estudiados

Se puede observar que todos los morteros reciclados cumplen la norma cubana. Cabe destacar que todos los morteros, tanto los fabricados con arena natural como con árido reciclado que incorporan escoria como filler, alcanzan prestaciones superiores a sus homónimos que incorporan hidrato de cal como filler, a excepción del mortero elaborado con arena reciclada G1. Esto es debido al posible comportamiento hidráulico que presenta la escoria blanca, tal y como ya se ha evidenciado en trabajos anteriores.

3.4. RESISTENCIA A LA ADHERENCIA

La resistencia mínima a la adherencia según la normativa de aplicación es de 0,3 MPa; valor mínimo de resistencia requerida para los morteros de albañilería de tipo III. Ese valor podría reducirse a 0,2 MPa cuando los morteros de albañilería se emplean para unión o revestimiento en paredes interiores. La Figura 5 muestra los resultados de la resistencia a la adherencia obtenidos por todos los morteros.

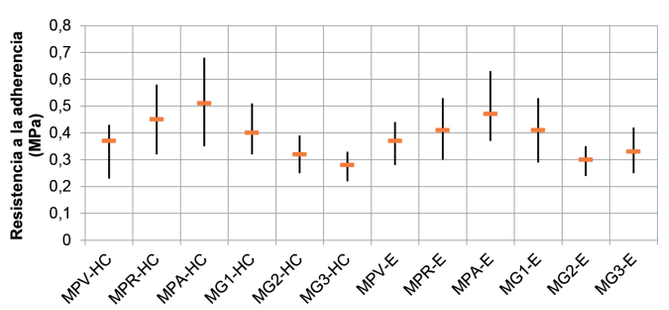


Fig. 5: Resistencia a la adherencia a los 28 días de los morteros estudiados

Todos los morteros alcanzaron el valor mínimo de 0,2 MPa para su empleo en paredes interiores. Se encontró que todos los morteros reciclados obtuvieron una resistencia a la adherencia más baja que la de los morteros producidos empleando áridos naturales, además, que los morteros fabricados con áridos reciclados obtenidos de la fuente de MG1 (principalmente de composición cerámica) alcanzan valores de resistencia a la adherencia más altos que los morteros producidos con áridos de la fuente de MG2 (fuente heterogénea compuesta por hormigón y material cerámico). Según ciertos investigadores [26, 27], los morteros de áridos reciclados logran una capacidad de resistencia a la adherencia más baja que los morteros de control, fabricados, con áridos reciclados. En contraste, varios investigadores [28, 29, 30, 31] han determinado que los morteros producidos que emplean el 100% de la proporción de reemplazo de áridos reciclados podrían lograr valores de resistencia a la adherencia más altos que los morteros de control.

En general, los morteros fabricados con áridos reciclados revelan menor resistencia a la adherencia que los fabricados con áridos naturales independientemente de tipo de filler empleado. La incorporación de filler E en sustitución de HC, tanto en morteros fabricados con áridos naturales como con áridos reciclados, conlleva una reducción de la resistencia a la adherencia, excepto en el caso de MPG3-E. El efecto aglutinante del filler HC aumenta la capacidad adhesiva de los morteros[32].

3.5. RETRACCIÓN

Los morteros fabricados a partir de áridos reciclados sufrieron una mayor retracción que los morteros fabricados con áridos naturales (ver Fig. 7), debido a su mayor capacidad de absorción de agua. Varios investigadores [33, 14, 34] también han descrito que los morteros con áridos reciclados experimentan mayor retracción respecto a morteros con áridos naturales. Silva [35], encontró que los morteros que emplean 20%, 50% y 100% de áridos reciclados, principalmente de cerámica, alcanzaron valores de retracción similares entre sí, y superiores a los obtenidos por el mortero de control. Según Vegas [36], Cabrera-Covarrubias [37], Jiménez [16], y López Gayarre [38], los morteros con 25%, 30%, 40% y 50%, de áridos cerámicos lograron valores aceptables de retracción comparados con los morteros convencionales. Según Miranda y Selmo [40], también apoyan que el uso de diferentes porcentajes de áridos reciclados influye en la retracción de los morteros.

En el presente estudio, el árido reciclado AG2, es el que presenta mayor absorción de agua, por tanto, los morteros elaborados con dicho árido son los que requieren mayor relación agua cemento para lograr la consistencia deseada. La presencia de un mayor volumen de agua en el interior de los morteros elaborados con árido AG2 induce mayor retracción, tal y como muestra la Figura 6. Sin embargo, los morteros elaborados con árido reciclado AG1, que presenta mayor contenido en finos frente a AG2, presentan menor retracción. Por ello se concluye que el factor que influye en mayor medida sobre la retracción es la relación agua/cemento empleada en la fabricación de los morteros.

Respecto al tipo de filler empleado, si bien los morteros con filler de HC demostraron tener valores de retracción más elevados que los morteros con filler de piedra caliza (R), se encontró que

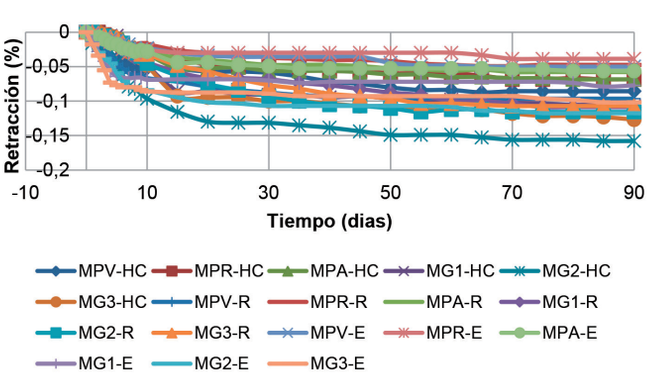


Fig. 6: Retracción de los morteros estudiados

alcanzaron la trabajabilidad mínima requerida utilizando menos contenido de agua que los morteros que incorporan HC. El estudio comparativo entre el filler de HC y E mostró que la mayor cantidad de material más fino que 75 µm y la capacidad de retención de agua de HC tienen una gran influencia en el aumento de la retracción. Este hecho también ha sido descrito por otros investigadores Braga [39], Miranda y Selmo [40]. El empleo de filler E induce menor retracción ya que parte del agua se consume debido al carácter hidráulico de la escoria.

4. CONCLUSIONES

Los áridos reciclados mixtos pueden ser empleados en la elaboración de morteros de albañilería tipo III (morteros de colocación y revestimiento adecuados para su utilización sobre el nivel del terreno) cumpliendo los valores de resistencia a compresión, adherencia y retención de agua exigidos por la normativa cubana para este tipo de morteros, si bien presentan prestaciones mecánicas inferiores y valores de porosidad, absorción capilar y absorción de agua libre más elevados que sus homólogos fabricados con áridos naturales.

La escoria blanca granulada de acería eléctrica puede emplearse como filler en la fabricación de morteros de albañilería en sustitución total del hidrato de cal, mejorando las prestaciones del mortero (porosidad, absorción de agua, retracción), tanto en el caso de emplear áridos naturales como áridos reciclados mixtos.

REFERENCIAS

[1] Pavón E, Etxeberria M, Díaz N. Situación actual de la generación de residuos de construcción y demolición en Ciudad Habana y su comparación con índices internacionales, in II Convención internacional de Ingeniería en Cuba. 2010.
[2] Manchón V. Estudio de los morteros de colocación y revestimiento preparados con árido fino procedentes del reciclaje de los residuos de construcción y demolición en La Habana Vieja y filler calizo", Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. 2010.
[3] Herrera, I.E.M., et al., Evaluación de morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados mixtos con diferentes procesos de obtención". Revista Cubana de Ingeniería, 2012. III(2): p. 11-16.
[4] Herrera, I.M., E.P.d.l. Fé, and N.D. Brito, Evaluación de las prestaciones de morteros estructurales fabricados con áridos reciclados mixtos de diferente composición. Revista Cubana de Ingeniería, 2013. IV(3): p. 15-21.
[5] Martínez I, Etxeberria M, Pavón E, Díaz N. A comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars¨. Constr Build Material 49, 2013.
[6] Restuccia L, Spoto C, Andrea Ferro G, Tulliani JM. Recycled mortars with C&D waste. Proc Struct Integr 2:2896–2904, 2016
[7] Saiz Martínez P, González Cortina M, Fernández Martínez F, Rodríguez Sánchez A Comparative study of three types of fine (CDW), and their use in masonry mortar fabrication. J Clean Prod 118:162–169, 2016
[8] Tokyay, M., Cement and concrete mineral admixtures. 1 ed. 2016, Boca Ratón, FL 33487-2742: CRC Press; Taylor & Francis Group.
[9] Martínez I, Etxeberria M, Pavón E, Díaz N. A comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars. 2013.
[10] Mehta PK, Monteiro P, "Concrete Microstructure Properties and Materials". 2005, p. 282-283.
[11] Raeis Samiei R, Daniotti B, Pelosato R, Dotelli G Properties of cement–lime mortars vs. cement mortars containing recycled concrete aggregates. Constr Build Mater. 2015. 84:84–94.
[12] Martínez I, Etxeberria M, Pavón, Díaz N. Influence of Demolition Waste Fine Particles on the Properties of Recycled Aggregate Masonry Mortar. 2017.
[13] Neno C, De Brito J, Veiga R. Using fine recycled concrete aggregate for mortar production. Mater Res 2014. 17:168–177. https://doi.org/10.1590/S1516 14392 01300 50001 64.
[14] Vegas I, Azkarate I, Juarrero A, Frías M. Design and performance of masonry mortars made with recycled concrete aggregates. Mater Constr. 2009. 59:5–18.
[15] Jiménez JR, Ayuso J, López M, Fernández JM, De Brito J. Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. Constr Build Mater. 2013.
[16] Martínez I, Etxeberria M, Pavón E and Díaz N. Evaluación de morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados mixtos con diferentes procesos de obtención, Revista cubana de Ingeniería. 2012, Vol. III-3, p. 11-16.
[17] Martínez I, Pavón E, Díaz N. Evaluación de las prestaciones de morteros estructurales fabricados con áridos reciclados mixtos de diferente composición", Revista cubana de Ingeniería. 2013, Vol. IV-3, p. 15-21.
[18] Enzo PA. Evaluación de morteros estructurales fabricados con áridos reciclados de diferente tipo", Universidad Tecnológica de la Habana. José Antonio Echeverría. 2015.
[19] Mahamadou I. Evaluación de las propiedades de tejas TEVI fabricadas con morteros compuestos por diferentes materiales reciclados, Universidad Tecnológica de la Habana. José Antonio Echeverría. 2015.
[20] Pavón E, Etxeberria M, and Martínez I. Propiedades del hormigón de árido reciclado fabricado con adiciones, activa e inerte," Rev. la Construcción. 2011. Vol. 10, no. 3, p. 4-15.
[21] Ince C, Derogar S, Tiyakioglu NY, Toklu YC. 2015.
[22] Zhao Z, Remond S, Damidot D, Xu W (2015) Influence of fine recycled concrete aggregates on the properties of mortars. Constr Build Mater 81:179–186.
[23] Santamaria-Vicario, I., Rodriguez-Saiz, A., Garcia-Cuadrado, J., Junco-Petrement, C., Gutierrez-Gonzalez, S. The influence of porosity on the behaviour in humid environments of mortars made with steelmaking slags and additives. DYNA, 2017. 92(2). 220-225. DOI: http://dx.doi.org/10.6036/8193.
[24] Poon C, Kou S. Properties of cementitious rendering mortar prepared with recycled fine aggregates. J Wuhan Univ Technol Sci Ed. 2010. 25:1053–1056.
[25] Kou S-C, Poon C-S. Effects of different kinds of recycled fine aggregate on properties of rendering mortar. J Sustain Cem Mater. 2013. 2:43–57.
[26] Martínez I, Etxeberria M, Pavón E, Díaz N. A comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars. Constr Build Mater. 2013.
[27] Saiz Martínez P, González Cortina M, Fernández Martínez F, Rodríguez Sánchez. A Comparative study of three types of fine recycled aggregates from construction and demolition waste (CDW), and their use in masonry mortar fabrication. J Clean Prod. 2016. 118:162–169.
[28] Corinaldesi V, Moriconi G Behaviour of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate. Constr Build Mater. 2009. 23:289–294.
[29] Poon C, Kou S. Properties of cementitious rendering mortar prepared with recycled fine aggregates. J Wuhan Univ Technol Sci Ed. 2010. 25:1053–1056.
[30] Kou S-C, Poon C-S. Effects of different kinds of recycled fine aggregate on properties of rendering mortar. J Sustain Cem Mater. 2013. 2:43–57.
[31] Corinaldesi V. Mechanical behavior of masonry assemblages manufactured with recycled-aggregate mortars. Cem Concr Compos. 2009. 31:505–510.
[32] Stefanidou M, Anastasiou E, Georgiadis Filikas K. Recycled sand in lime-based mortars. Waste Manag. 2014. 34:2595–2602.
[33] Saiz Martínez P, González Cortina M, Fernández Martínez F, Rodríguez Sánchez. A Comparative study of three types of fine recycled aggregates from construction and demolition waste (CDW), and their use in masonry mortar fabrication. J Clean Prod. 2016. 118:162–169.
[34] Ledesma EF, Jiménez JR, Ayuso J, Fernández JM, de Brito J. Maximum feasible use of recycled sand from construc tion and demolition waste for ecomortar production—PartI: ceramic masonry waste. J Clean Prod. 2015. 87:692–706.
[35] Silva J, de Brito J, Veiga R. Recycled redclay ceramic construction and demolition waste for mortars produc tion. J Mater Civ Eng. 2010. 22:236–244.
[36] Vegas I, Azkarate I, Juarrero A, Frías M. Design and performance of masonry mortars made with recycled concrete aggregates. Mater Constr. 2009. 59:5–18.
[37] CabreraCovarrubias FG, GómezSoberón JM, AlmaralSánchez JL, ArredondoRea SP, CorralHiguera R. Mechanical properties of mortars containing recycled ceramic as a fine aggregate replacement. Rev La Constr. 2015. 14:22–29
[38] Miranda L, Selmo S CDW recycled aggregate renderings: Part I—Analysis of the effect of materials finer than 75 lm on mortar properties. Constr Build Mater. 2006. 20:615–624.
[39] Braga M, Brito J, Veiga R Reduction of the cement con tent in mortars made with fine concrete aggregates. Mater Struct. 2014. 47:171–182.
[40] Miranda L, Selmo S CDW recycled aggregate renderings: Part I—Analysis of the effect of materials finer than 75 lm on mortar properties. Constr Build Mater. 2006. 20:615–624.