

Evaluación de morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados mixtos con diferentes procesos de obtención

Iván Emilio Martínez Herrera

Correo electrónico: imartinez@civil.cujae.edu.cu
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Artículo Original

Miren Etxeberria Larrañaga

Correo electrónico: miren.etxeberría@upc.edu.es
Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España

Elier Pavón de la Fé

Correo electrónico: elierpavon@civil.cujae.edu.cu
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Nelson Emilio Díaz Brito

Correo electrónico: nediaz@civil.cujae.edu.cu
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Resumen

En La Habana se generan diariamente más de 1 000 m³ de residuos de construcción y demolición (RCD). La mayoría de estos residuos son de composición mixta, pues provienen de derrumbes de edificaciones en mal estado o de demoliciones que no se realizan de forma selectiva. A partir de los RCD, por lo general se emplean dos formas para producir áridos reciclados, una es a través del tamizado de los escombros por el tamiz de 5mm, utilizando la fracción pasada por el mismo, que es una práctica muy utilizada por los pobladores de la ciudad y otra a partir de la trituración de las fracciones gruesas en máquinas productoras de áridos reciclados. En este trabajo se evalúan los áridos reciclados procedentes de un mismo RCD mixto, uno obtenido mediante la trituración de la parte gruesa del residuo y otro utilizando la parte fina. Con los dos áridos reciclados se elaboraron morteros de albañilería según las especificaciones de la norma cubana. A los morteros se les determinaron las siguientes propiedades: retención de agua, resistencia a flexión, resistencia a compresión, adherencia y absorción de agua por capilaridad. Las propiedades de los morteros se compararon con las de un mortero patrón fabricado con un árido natural y con los valores establecidos por la norma cubana. Los resultados muestran que los morteros elaborados a partir de la fracción gruesa de los residuos presentan mejores prestaciones mecánicas cumpliendo los estándares de la norma cubana.

Palabras clave: morteros de albañilería, residuos de construcción y demolición, reciclaje

Recibido: 12 de marzo del 2012

Aprobado: 18 de abril del 2012

INTRODUCCIÓN

En La Habana se generan diariamente más de 1 000 m³ de residuos de construcción y demolición (RCD) [1] según datos calculados de la Oficina Nacional de Estadísticas. [2] La mayor parte de estos RCD se depositan en vertederos comunes, lo que provoca un negativo impacto ambiental. Además, este manejo de los RCD provoca su contaminación, haciendo extremadamente difícil su reciclaje.

Los RCD sin contaminar generados en La Habana, poseen características singulares si se comparan con los generados

en otros países. La ausencia de demoliciones selectivas y los derrumbes ocurridos debido al mal estado de una parte importante del fondo habitacional, provoca que se generen RCD de tipo mixto, diferentes a los RCD de naturaleza única (cerámico, hormigón, mortero, yeso, etc.) con los que se trabajan en diversos países.

La mayoría de las viviendas de la capital cubana utiliza como elementos constructivos verticales, bloques de hormigón unidos por morteros. Tanto el repello interior como el exterior de estos elementos se realiza igualmente con

morteros de albañilería. En ambos casos se emplea un gran volumen de áridos naturales.

Paralelamente, las canteras de áridos naturales cercanas a la ciudad se encuentran sobreexplotadas y muchas de ellas ya comienzan a agotarse, lo que provoca que las canteras suministradoras de la capital se encuentren cada vez más distantes, lo que trae consigo el aumento en los costos de transportación.

La fabricación de áridos reciclados a partir de los RCD generados en la ciudad es una alternativa que permite proteger los recursos naturales, disminuyendo la explotación de las canteras, los costes de transporte y minimiza el impacto ambiental que produce la deposición irregular de los RCD. [3 - 5]

Una alternativa generalizada en la ciudad para contrarrestar la falta de áridos naturales, ha sido la utilización del material fino (menor de 5 mm) que se obtiene de cernir directamente los escombros que se producen tanto de demoliciones como de derrumbes de edificaciones. Este material es empleado principalmente para la confección de morteros de albañilería tanto de colocación como de revestimiento.

La mayoría de los trabajos que tratan el tema del reciclaje de RCD, analizan su empleo en la fabricación de áridos para la confección de hormigones. [6 - 9]

Los estudios realizados sobre el tema a nivel internacional analizan principalmente los áridos reciclados provenientes de residuos de un único material. En I. Vegas *et al* se fija un máximo de 25 % de sustitución de árido natural por reciclado sin que el mortero vea afectadas sus prestaciones, y establecen la elevada absorción de agua y el alto contenido de sulfatos de los áridos como elementos limitantes. [10] Corinaldesi y Moriconi utilizan áridos reciclados obtenidos de residuos provenientes de tres fuentes diferentes: una planta de hormigón, ladrillos cerámicos y una planta de reciclaje. Los resultados muestran que los morteros reciclados presentan una resistencia mecánica inferior a los de arena natural, sin embargo, muestran una mayor adherencia en la interacción mortero ladrillo. [11]

La utilización de residuos de ladrillos cerámicos con actividad puzolánica como sustitución parcial de cemento, en morteros fabricados con arena natural, fue analizado por Naceri y Hamina, solo las sustituciones de 5 y 10 %, a partir de 90 días, mostraron comportamientos mecánicos similares a los morteros sin ningún porcentaje de sustitución. [12]

En este estudio se analizan dos áridos reciclados obtenidos mediante diferentes procesamientos de un mismo residuo procedente de la demolición de una vivienda. A los áridos reciclados se les determinan sus propiedades físicas y químicas, y se comparan con las de una arena natural ampliamente comercializada en la ciudad. Posteriormente, se fabrican morteros de albañilería con cada uno de estos áridos comparando las prestaciones con los estándares establecidos por la norma cubana.

MATERIALES

Cemento

Para la fabricación de todos los morteros se utilizó un cemento Portland (P-350) de 35 MPa de resistencia media a compresión a los 28 días. Este cemento es de fabricación nacional y se comercializa de forma habitual.

Las propiedades físicas y mecánicas del cemento se muestran en la tabla 1, los valores se comparan con los establecidos por la norma cubana NC 95: 2001 [13] para este tipo de cemento.

Tabla 1
Propiedades físicas y mecánicas del cemento P-350

Propiedades		UM	Valores	Aceptación NC 95: 2001
Peso específico		g/cm²	3,12	-
Superficie específica (Blaine)		g/cm³	3 089	> 2 800
Retenido en el tamiz de 2 900 mallas		%	1,0	<10
Tiempo de fraguado final		min	66	> 45
Tiempo de fraguado inicial		h	2,15	< 10
Estabilidad de volumen (Le Chatelier)		mm	0,95	< 10
Resistencia a flexión	3	MPa	6,5	> 3
	7		7,2	> 4
	28		9	> 6
Resistencia a compresión	3	MPa	29,7	> 17
	7		34,5	> 25
	28		42,6	> 35

Áridos

En este estudio se utilizó una arena natural (AN) para la fabricación del mortero patrón. Los morteros reciclados se fabricaron con dos áridos reciclados diferentes (ARD1 y ARD2). Para todos los morteros se empleó un filler calizo (FR) muy utilizado en la ciudad.

Los dos áridos reciclados utilizados provienen de una única fuente de escombros. El procesamiento empleado con cada uno es lo que los diferencia. El árido reciclado ARD1 se obtuvo luego de triturar la fracción gruesa (mayor de 5mm) del residuo empleado, el árido reciclado ARD2 se obtuvo de cernir directamente el residuo por un tamiz de 4,76 mm.

En la figura 1 se muestran los resultados del ensayo granulométrico, realizado según lo establecido en la norma cubana NC 178: 2002. [14]

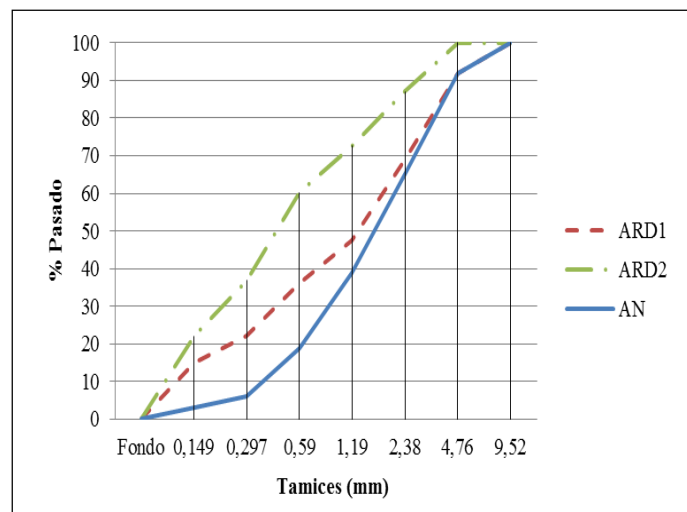


Fig. 1. Distribución granulométrica del árido natural y los áridos reciclados.

La tabla 2 muestra las propiedades físicas del árido natural, los áridos reciclados y el filler calizo. Todos los ensayos se realizaron según lo establecido en las normas cubanas correspondientes (Densidad y Absorción de agua: NC 177: 2002; Masa volumétrica suelta: NC 181: 2002 [15]; Material más fino que el tamiz 200: NC 182: 2002. [16])

En la tabla 3 se presentan los resultados del análisis químico realizado a los áridos reciclados y el filler calizo.

Propiedad	AN	ARD1	ARD2	FR
Densidad (kg/dm ³)	2,49	2,11	2,02	2,53
Absorción de agua (%)	2,5	10,6	13,0	-
Masa volumétrica suelta (kg/dm ³)	1,436	1,159	1,092	1,141
Material más fino que el tamiz #200 (%)	4,4	11,3	14,3	37,2

**Tabla 3
Análisis químico de los áridos reciclados y el filler calizo**

Compuesto	ARD1 (%)	ARD2 (%)	FR (%)
SiO ₂	8,62	16,69	5,72
Fe ₂ O ₃	1,14	2,13	1,60
Al ₂ O ₃	2,35	4,95	2,95
CaO	52,53	46,67	47,36
MgO	1,15	1,54	1,79
Na ₂ O	0,35	0,28	0,11
K ₂ O	0,25	0,43	0,19
SO ₃	0,57	0,42	0,17

La norma cubana NC 657: 2008 [17], establece las especificaciones para los áridos a utilizar en morteros de albañilería. Según la normativa, el contenido de sulfatos se puede considerar admisible siempre que el contenido total de azufre (expresado en el anhídrido sulfúrico SO₃) sea menor del 1% con respecto al peso de los áridos secos. Ninguno de los áridos empleados en el estudio sobrepasa este valor (tabla 3).

FASE EXPERIMENTAL

Dosificación

La norma cubana NC 175:2002 [18], establece las dosificaciones volumétricas para morteros de albañilería con diferentes usos. Para morteros tipo III (mortero de colocación y revestimiento adecuados para su utilización sobre el nivel del terreno) se recomienda una dosificación volumétrica 1:4:2 (cemento : arena : hidrato de cal). Esta dosificación fue la empleada para la confección del mortero patrón sustituyendo el hidrato de cal por un filler calizo, pues este último es más comercializado en la ciudad.

Para los morteros elaborados con áridos reciclados se empleó una dosificación volumétrica 1:5:1 (cemento: árido reciclado: filler calizo). Esta dosificación es equivalente a la 1:4:2 empleada para el mortero patrón por el mayor contenido de finos que poseen los áridos reciclados. [1]

Todos los morteros se trabajaron con fluidez constante (185 mm - 195 mm) según lo establecido en la norma cubana NC 170: 2002, [19] variando para este fin la relación agua/cemento (a/c) sin emplear aditivos. El curado de los morteros se realizó en un ambiente húmedo hasta la edad de ensayo según se especifica en la NC 173:2002. [19] En la tabla 4 se muestran los morteros estudiados, la relación a/c y la fluidez promedio de cada uno.

Tabla 4
Morteros estudiados

Nomenclatura	Árido utilizado	Dosificación	Relación a/c	Fluidez (mm)
MRD1	ARD1	1:5:1	1,40	192
MRD2	ARD2	1:5:1	1,49	193
MP	AN	1:4:2	1,35	189

Ensayos en estado fresco

Se comprobaron dos propiedades de los morteros en estado fresco, la fluidez, según lo establecido en la norma cubana NC 170: 2002 [19] y la retención de agua, según lo indicado en la norma cubana NC 169: 2002. [21]

Ensayos en estado endurecido

Se analizaron cinco propiedades de los morteros en estado endurecido, todas ellas reguladas por normas cubanas: Resistencia a flexión y compresión (NC 173: 2002, [20]) resistencia a la adherencia por tracción (NC 172: 2002 [22]) y absorción capilar (NC 171: 2002. [23])

Los resultados obtenidos con los morteros reciclados se comparan con los obtenidos por el mortero patrón y con los establecidos por la normativa cubana para morteros de albañilería tipo III.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La norma cubana NC 175: 2002 [18] establece como valor mínimo admisible de retención de agua para morteros de albañilería tipo III un 90 %. En la figura 2 se observa que los tres morteros estudiados cumplen con el valor fijado por la norma. En la retención de agua tiene una marcada influencia la cantidad de finos presentes en el mortero, de ahí que el MRD2 muestre el mayor porcentaje de retención comparado con los dos morteros restantes.

La figura 3 muestra los valores de resistencia a flexión de los morteros estudiados. Se puede observar que a los 28 días el mortero patrón (MP) supera en 0,5 MPa al MRD1 y este a su vez presenta mejores valores de resistencia a flexión que MRD2.

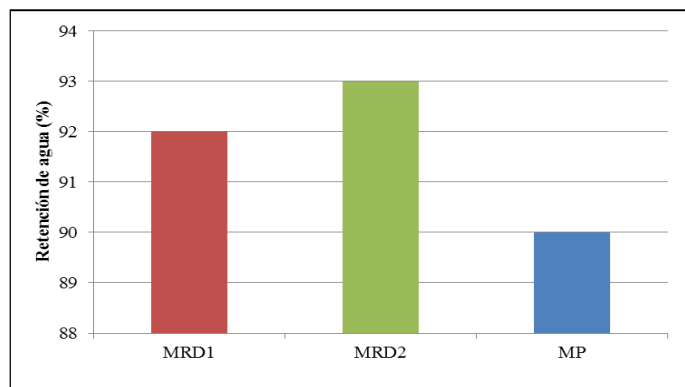


Fig. 2. Capacidad de retención de agua de los morteros reciclados y patrón.

La normativa cubana no fija ningún valor de resistencia a flexión para regular el uso de morteros de albañilería.

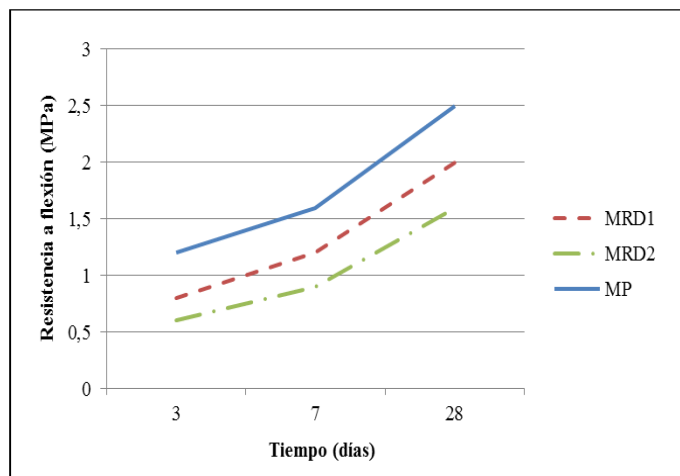


Fig. 3. Resistencia a flexión de los morteros reciclados y patrón.

La resistencia a compresión tiene una influencia directa a la hora de definir el empleo del mortero. La norma cubana NC 175: 2002 [18] establece como valor mínimo para morteros de albañilería tipo III los 5,2 MPa a los 28 días. En la figura 4 se observa que el mortero reciclado MRD1 supera este valor, mientras el MRD2 apenas alcanza los 5 MPa, quedándose ligeramente por debajo del valor normado. En el caso del mortero MRD2 cumpliría con las prestaciones fijadas para un mortero tipo II restringiendo su uso como mortero de colocación para muros no portantes.

Para morteros de revestimiento, una de las propiedades fundamentales, es la adherencia con la superficie sobre la que será utilizado. La norma cubana NC 175: 2002 [18] establece como valor mínimo para paredes que no utilizarán enchapes los 0,2 MPa. En la figura 5 se pueden apreciar los valores de adherencia de cada mortero; se observa que el mortero MRD2 es el único que no cumple con las especificaciones de la norma.

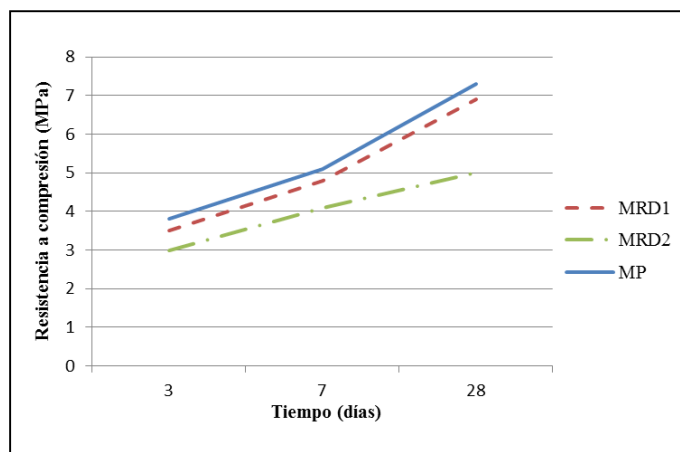


Fig. 4. Resistencia a compresión de los morteros reciclados y patrón.

En la figura 6 se observan los valores de absorción de agua por capilaridad que poseen los morteros. El mortero MRD2 posee los mayores índices de absorción capilar, a pesar de tener mayor cantidad de finos. Este resultado se debe a la mayor relación a/c demandada por el mortero que provoca la aparición de poros capilares a medida que el agua se evapora.

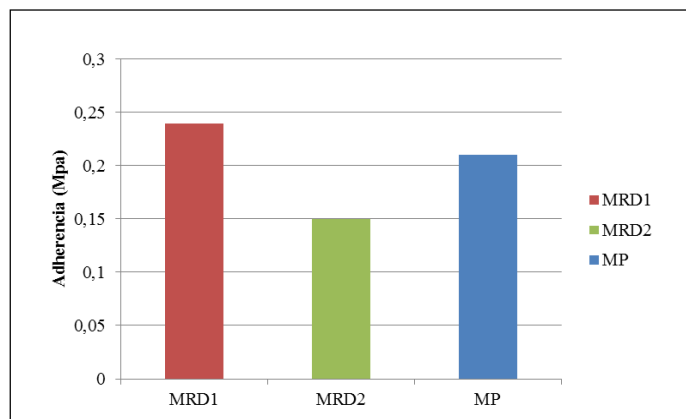


Fig. 5. Resistencia a la adherencia por tracción de los morteros reciclados y patrón.

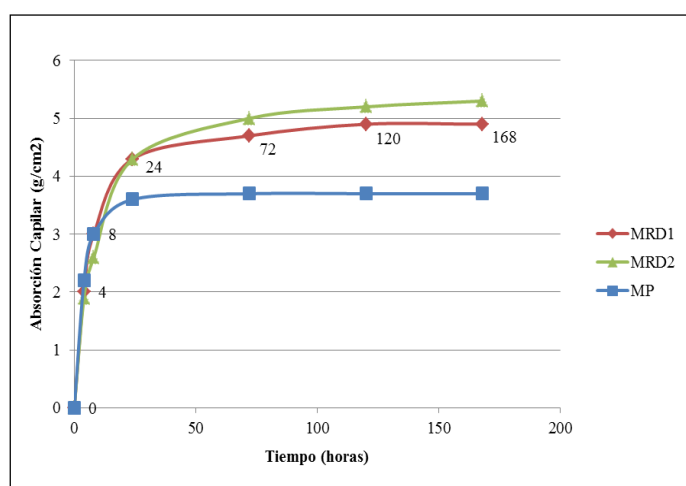


Fig. 6. Absorción de agua por capilaridad de los morteros reciclados y patrón.

CONCLUSIONES

El procesamiento utilizado con los residuos de construcción y demolición (RCD) para la obtención de áridos finos influye en las prestaciones de los morteros elaborados con estos áridos. De la trituración de las partículas gruesas (superiores a 5 mm) de los residuos se obtienen áridos reciclados que permiten fabricar morteros de colocación aptos para su utilización tanto en muros portantes como no portantes, según especificaciones de la norma cubana, así como para revestimiento de paredes interiores no enchapadas. Las prestaciones de estos morteros son superiores a los morteros elaborados con áridos reciclados obtenidos de cernir por un tamiz de 5 mm los RCD.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo por la financiación del proyecto de investigación que da origen al presente trabajo. Igualmente, quisieran reconocer la contribución brindada por el personal de los laboratorios de materiales de construcción del CITEC y CECAT en La Habana y de la UPC en Barcelona.

REFERENCIAS

1. **MANCHÓN MARCOS, Vanesa** "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". Director: Nelson Díaz. Tesis de maestría, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, 2010.
2. Oficina Nacional de Estadísticas. *Tratamiento y recolección de desechos sólidos* [en línea]. La Habana [ref. 19 de enero de 2012]. Disponible en Web: <http://www.one.cu/aec2009/datos/2.50.xls>.
3. **PAVÓN, Elier. et al.** "Utilización de árido reciclado de hormigón en la fabricación de hormigón estructural en La Habana, Cuba". En actas de *Nom Conventional Materials and Technologies (NOCMAT)*, Colombia, 2008, ISBN: 978-958-670-682-7.
4. **PAVÓN, Elier; ETXEBERRIA, Miren y DÍAZ, Nelson.** "Estudio de la aplicabilidad del hormigón con árido grueso reciclado en La Habana, Cuba". *Materiales de Construcción*, 2012 [en línea], manuscrito aceptado. doi: 10.3989/mc.2012.63210. Disponible en Web: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/685/729>.
5. **PAVÓN, Elier.** "Empleo del árido reciclado de hormigón en la fabricación de hormigón estructural". Director: Nelson Díaz. Tesis de maestría, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, 2010.
6. **EVANGELISTA, L. and DE BRITO, J.** "Durability Performance of Concrete Made with Fine Recycled Concrete Aggregates". *Cement & Concrete Composites*, 2010, vol. 32, pp. 9 - 14.
7. **BRECCOLOTTI, Marco and MATERAZZI, Annibale.** "Structural Reliability of Eccentrically-Loaded Sections in RC Columns Made of Recycled Aggregate Concrete". *Engineering Structures*, 2010, vol. 32, pp. 3704 - 3712.
8. **CASUCCIO, M. et al.** "Failure Mechanism of Recycled Aggregate Concrete". *Construction and Building Materials*, 2008, vol. 22, pp. 1500 - 1506.
9. **CHAKRADHARARAO, M.; BHATTACHARYYA, S.K. AND BARAI, S.V.** "Behaviour of Recycled Aggregate Concrete under Drop Weight Impact Load". *Construction and Building Materials*, 2011, vol. 25, pp. 69 - 80.
10. **VEGAS, I. et al.** "Diseño y prestaciones de morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados procedentes de escombros de hormigón". *Materiales de Construcción*, 2009, vol. 59, núm. 295, pp. 5 - 18.

11. **CORINALDESI, Valeria and MORICONI, Giacomo.** "Behaviour of Cementitious Mortars Containing Differents Kinds of Recycled Aggregate". *Construction and Building Materials*. 2009, vol. 23, pp. 289 - 294.
12. **NACERI, Abdelghani and HAMINA, Makhloufi.** "Use of Waste Brick as a Partial Replacement of Cement in Mortar". *Waste Managment*, 2009, vol. 29, pp. 2378 - 2384.
13. **NC. Cemento Portland. Especificaciones.** NC 95: 2001. La Habana. Cuba. 2001.
14. **NC. Áridos. Análisis granulométrico.** NC 178: 2002. La Habana. Cuba. 2002.
15. **NC. Áridos. Determinación del peso volumétrico.** Método de ensayo. NC 181: 2002. La Habana. Cuba. 2002.
16. **NC. Áridos. Determinación del material más fino que el tamiz de 0,074 mm (No. 200).** Método de ensayo. NC 182: 2002. La Habana. Cuba. 2002.
17. **NC. Áridos para morteros de albañilería - Especificaciones.** NC 657: 2008. La Habana. Cuba. 2008.
18. **NC. Morteros de albañilería. Especificaciones.** NC 175: 2002. La Habana. Cuba. 2002.
19. **NC. Mortero fresco. Determinación de la consistencia en la mesa de sacudidas.** NC 170: 2002. La Habana. Cuba. 2002.
20. **NC. Mortero endurecido. Determinación de la resistencia a flexión y compresión.** NC 173: 2002. La Habana. Cuba. 2002.
21. **NC. Mortero fresco. Determinación de la capacidad de retención de agua.** NC 169: 2002. La Habana. Cuba. 2002.
22. **NC. Mortero endurecido. Determinación de la resistencia a la adherencia por tracción.** NC 172: 2002. La Habana. Cuba. 2002.
23. **NC. Mortero endurecido. Determinación de la absorción de agua por capilaridad.** NC 171: 2002. La Habana. Cuba. 2002.

AUTORES

Iván Emilio Martínez Herrera

Ingeniero Civil, Instructor, Grupo de Investigación sobre Materiales y Tecnologías de la Construcción, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Miren Etxeberria Larrañaga

Ingeniera Industrial, Doctora, Investigadora Principal, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España

Elie Pavón de la Fé

Ingeniero Civil, Máster en Ciencias, Asistente, Grupo de Investigación sobre Materiales y Tecnologías de la Construcción, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Nelson Emilio Díaz Brito

Ingeniero Civil, Máster en Ciencias, Profesor Auxiliar, Grupo de Investigación sobre Materiales y Tecnologías de las Construcción, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Evaluation of Masonry Mortars Made with Mixed Recycled Aggregates by Different Processes

Abstract

Havana produces over 1000 m³ of construction and demolition waste (CDW) per day. Most of these residues are of a mixed composition; they come either from collapsing buildings in disrepair or demolition that are not performed selectively. From the CDW, there are usually two ways to produce recycled aggregates; one is by sifting the debris through a 5mm sieve which is a practice widely used by residents in cities and the other from is by crushing the coarse fractions in recycled aggregate producing machines. In this paper the recycled aggregates from the same mixed CDW are evaluated, one obtained by crushing the thick part of the residue and another by using the fine portion. Both recycled aggregates were used to produce masonry mortar as specified by the Cuban Standards to then determine the following properties: water retention, flexural strength, compressive strength, bond tensile strength, and water absorption by capillarity. The properties of the mortars were compared with the pattern given by a mortar made with natural aggregate and with the values set by the Cuban Standards. The results show that the mortars prepared from the coarse fraction of the residues have better mechanical properties complying with the principles of the Cuban Standard.

Key words: masonry mortars, construction and demolition waste, recycling