

Agregado reciclado para morteros

Ángela María Hincapié Henao

Ingeniera Civil, MSc. en Ingeniería. Profesora de cátedra de la Universidad EAFIT.
ahincapi@sigma.eafit.edu.co

Elisa Andrea Aguja López

Ingeniera Civil de la Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Construcción de la Constructora Colpatría.
elisaa@epm.net.co



Recepción: 3 de octubre de 2002 | Aceptación: 23 de mayo de 2003

Resumen

Los escombros son residuos de la construcción que pueden ser reciclados y reutilizados en la elaboración de elementos prefabricados, morteros y hormigones. En esta investigación se evaluó el mortero de pega, elaborado con agregado proveniente de cilindros de hormigón. Los cilindros fueron triturados hasta convertirlos en agregado fino; se realizó la caracterización del ACR (agregado de concreto reciclado), producido en laboratorio, y la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del mortero elaborado con éste. Se prepararon tres dosificaciones en volumen 1:0.25:3, 1:0.5:4 y 1:1:5 (cemento: cal: arena). Los resultados mostraron un comportamiento favorable del mortero elaborado con ACR.

Palabras Claves

Mortero / agregados reciclados / residuos de construcción

Abstract

The waste produced in building construction can be used as mortars, concrete and precast components. This paper presents the results of a research process that analyzed the behavior of mortars prepared with aggregated from cylindrical concrete specimens. The cylinders were crushed up to obtain thin particles. The recycled concrete was produced in the laboratory and then characterized through the evaluation of its physical and mechanical properties in its fresh and hardened state. Mortars compositions were cement, hydrated lime and sand in the 1:0,25:3; 1:0,5:4 and 1:1:5 ratios accordingly. The obtained results indicate that recycled concrete is a good option in the building industry since it displayed an appropriate performance during the evaluation.

Key Words

Mortars / recycled aggregate / construction waste

Introducción



El reciclaje de materiales de construcción, impensable hace tan sólo unos años, está actualmente en vía de configurarse como una actividad con interesantes expectativas de crecimiento. Resultados de investigaciones previas (Ploger, 1947; Buck, 1977; Malhotra, 1977; Frondistou-Yannas, 1977) aplicadas en su mayoría, a la evaluación del hormigón elaborado con agregados reciclados, han mostrado que tales materiales pueden ser un sustituto satisfactorio y económico de los agregados convencionales, abriendo una nueva perspectiva en la ingeniería, especialmente en el campo de la construcción con una visión ambiental. Otra de las aplicaciones del material reciclado, es la utilización de éste en la elaboración de morteros para mampostería. Se han realizado varios estudios (Hamassaki, 1996), en el que emplearon agregados procedentes de varios tipos de escombros (bloques de hormigón, bloque cerámico y ladrillo de arcilla) en la elaboración de morteros; los resultados mostraron que la resistencia a la compresión en estos morteros fue mayor que la resistencia de los morteros naturales; Álvarez Cabrera (1997), realizó una investigación similar a la anterior, en la cual concluyó que el material proveniente de escombros de demolición es apropiado para la producción de morteros, ya que presenta un comportamiento similar a los áridos de cantera.

En Colombia, se desconocen los efectos de la arena reciclada en las propiedades de los morteros y del hormigón mismo, tanto en estado fresco como en estado endurecido; razón adicional, para que las investigaciones estén encaminadas al conocimiento detallado de estos materiales.

Los estudios han sido orientados a evaluar la disposición de los escombros y no al posible aprovechamiento de éstos mediante el desarrollo de nuevos materiales para la construcción. Según algunas instituciones (Corporación Fundemos, 1991 y, Departamento Administrativo de Planeación Metropolitana, 1997), debido al gran volumen de escombros producidos en la ciudad (6000 toneladas/día), la ciudad no dispone de una estructura apropiada para brindar el servicio de recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final de éstos, y concluye que se debe encaminar estudios para la fabricación de una planta de reciclado y las posibilidades de reutilización de tales subproductos.

Dado que la investigación sobre la influencia del agregado reciclado en los morteros y hormigones es poca en nuestro país, un punto de partida es el estudio de los morteros con el material reciclado, además porque éste es un componente importante de la mampostería, del cual es necesario que se mejore su técnica y calidad.

1. Objetivos

- Caracterizar el agregado fino reciclado obtenido de la trituración de cilindros de hormigón descartados.
- Evaluar experimentalmente las propiedades del mortero elaborado con agregado reciclado y compararlo con el mortero convencional, en especial, su influencia en la adherencia tanto en morteros con cal y sin cal.
- Realizar un análisis morfológico del agregado reciclado y natural y petrográfico de los morteros elaborados con estos dos materiales, a partir de lo cual se pueda inferir sobre su influencia en la resistencia del mortero.

2. Materiales

2.1 Cemento

Se empleó Cemento Nare Tipo I, cuya caracterización mecánica se presenta en la tabla 1.

2.2 Cal

Se empleó Cal PROMICAL TIPO M, siendo esta empresa uno de las principales proveedores de cal en el Valle de Aburrá, su masa unitaria es de 0.55gr/cm³.

2.3 Agregado natural

El agregado en los morteros proporciona economía, trabajabilidad, reducción en la retracción e influye en la resistencia a la compresión (ICONTEC, 1993), por lo que este debe ser bien gradado, con bajo contenido de finos, libre de sustancias perjudiciales como partículas friables o livianas e impurezas orgánicas. El agregado empleado es procedente de la Cantera Agregados del Norte, cuya granulometría se presenta en la Tabla 2.

2.4 Agregado reciclado

El agregado reciclado es procedente de la trituración de cilindros de concreto descartados. El proceso de trituración escogido, luego de sondeos previos, consistió inicialmente en la reducción de tamaño del cilindro de concreto original (trituración primaria), mediante la trituradora de quijadas, luego se pasó el material en la trituradora de rodillos dos veces (trituración secundaria), con lo cual se obtuvo una granulometría satisfactoria; sin embargo, dado que se obtiene un porcentaje considerable de polvo fino (pasante malla N° 200), se optó por eliminar este último material, puesto que aumenta la absorción del agregado y por consiguiente la cantidad de agua requerida para una consistencia determinada. El molino de bolas se descartó ya que produjo un polvillo fino (residuos de pasta de cemento hidratada) que incrementó la absorción del agregado perjudicando la manejabilidad del mortero. La distribución granulométrica de este agregado se presenta en la Tabla 3.

Con relación a las propiedades físicas de los dos tipos de agregados, en la Tabla 4, se presenta un cuadro comparativo de éstas. El peso específico (sss) es de 2.43 y 2.62 para el agregado reciclado y natural, respectivamente; valores similares a los obtenidos por Buck (1977) y Malhotra (1977) en sus

investigaciones (2.34 y 2.63, respectivamente), esto debido quizás, a la baja densidad del mortero adherido a las partículas del ACR. (Malhotra, 1977).

2.5 Unidad de Mampostería

Las unidades de mampostería utilizadas fueron ladrillos cerámicos de 10 x 20 x 40, de perforación horizontal, que son los más utilizados para la mampostería no estructural en el medio de la construcción, con resistencia a la compresión de 3.12 MPa; un módulo de rotura de 0.12 Mpa y una absorción de 13%.

2.6 Dosificación de mezclas

Las dosificaciones empleadas se seleccionaron con base en las especificaciones por proporciones presentadas en la Tabla 1 de la NTC 3329 (ICONTEC, 1993), se prepararon en laboratorio tres tipos de mortero con arena natural, en estado saturado superficialmente seca, y con arena reciclada. Las dosificaciones en volumen y en peso, son presentadas en la Tabla 5.

Tabla 1: Análisis físico - mecánico del cemento

Parámetro	Valor Experimental	Especificación (NTC 121)
Peso unitario	1.04 gr/cm ³	—
Peso específico	3.0	2.9 – 3.3
Superficie específica	4500 cm ² /gr	2800 cm ² /gr (mínimo)
Expansión	0.40 %	0.8% (máximo)
Tiempos de fraguado (minutos)		
Inicial	110.0	45 (mínimo)
Final	190.0	480 (máximo)
Resistencia a la Compresión		
3d (MPa)	13.1	mín. 7.84
7d (Mpa)	20.1	mín. 14.7
28d (Mpa)	27.6	mín. 23.5

Tabla 2. Análisis granulométrico del agregado natural

Tamiz No.	% Pasa	Especificación (NTC 2240) % Pasa
4 (4.75mm)	100	100
8 (2.36 mm)	94.1	95 – 100
16 (1.18 mm)	70.6	70 – 100
30 (600 µm)	54.4	40 – 75
50 (300 µm)	28.3	10 – 35
100 (150 µm)	9.9	2 – 15

Tabla 3. Análisis granulométrico del agregado reciclado

Tamiz No.	% Pasa	Especificación (NTC 2240) % Pasa
4 (4.75mm)	100	100
8 (2.36 mm)	98.8	95 – 100
16 (1.18 mm)	84.9	70 – 100
30 (600 µm)	52.2	40 – 75
50 (300 µm)	20.4	20 – 40
100 (150 µm)	5.8	10 – 25
200 (75 µm)	0	0 – 10

El módulo de finura del agregado reciclado es 3.38.

Tabla 4. Análisis físico del agregado natural y reciclado

Parámetro	Arena Natural	Arena Reciclada
Peso Unitario (gr/cm ³)	1.51	1.28
Peso específico saturado superficialmente seco (sss)	2.62	2.43
Peso específico seco	2.59	2.27
Absorción (%)	1.21	6.84

Tabla 5. Dosificación de morteros empleados

Tipo de mortero	Proporción por volumen			Proporción en peso		
	Cemento (sss)	Cal	Arena	Cemento (sss)	Cal	Arena
M	1	0.25	3.00	1	0.13	4.4 (AN) 3.7 (ACR)
S	1	0.5	4.00	1	0.26	5.8 (AN) 4.9 (ACR)
N	1	1	5.00	1	0.53	7.3 (AN) 6.1 (ACR)

3. Metodología experimental

A continuación se describen los procedimientos adoptados para la evaluación de las propiedades de los morteros.

3.1 Análisis morfológico de los agregados

Debido al origen «no natural» del agregado reciclado, es interesante realizar estudios que permitan observar la morfología de las partículas; esta característica tiene gran influencia en las propiedades del mortero tanto en estado fresco como en estado endurecido y por ello es de gran utilidad en la interpretación de resultados.

El estudio morfológico es representativo en la medida en que puedan ser determinadas algunas características como la dimensión o tamaño del grano, la redondez y esfericidad, la textura, el color, el brillo y la presencia de impregnaciones o sustancias perjudiciales que influyan en el comportamiento del mortero. La identificación de estas características permite determinar si un agregado es adecuado para un uso específico.

La esfericidad relaciona la forma del grano con una esfera de igual volumen y a pesar de que esta característica es determinada cualitativamente, sirve para clasificar los granos angulosos y redondeados en alto y bajo grado de esfericidad, conforme se aproxime o no a la forma esférica. El redondeamiento describe la suavidad de los contornos y su grado de curvatura. (González y otros, 1991)

La forma y textura superficial de las partículas influyen considerablemente en las propiedades del mortero. Las partículas con mayor textura áspera, angulosas y alargadas, requieren más pasta de cemento y mayor cantidad agua para producir un mortero más trabajable. Análogamente, la distribución del tamaño de las partículas afecta el comportamiento del mortero: las arenas gruesas aumentan su resistencia a compresión pero reducen la trabajabilidad, mientras que las arenas finas, aunque produzcan morteros trabajables, reducen su resistencia y adhesión. (Gallegos, 1992).

El alcance de esta investigación está limitado al estudio morfológico, a nivel macroscópico, del agregado natural y reciclado. Para la determinación de la esfericidad y redondez se empleó el modelo de Powers (1953), y que sirve como referencia para la comparación de cada partícula, en las muestras de los dos tipos de agregados.

El análisis se realizó con un microscopio estereoscópico LEICA GZ6, cuyo aumento máximo posible es de 4.5X, al cual se le adaptó un lente especial que duplicó el poder de alcance de éste, y una regla metálica milimétrica, para estimar el tamaño de la partícula. Cada muestra, de 50 partículas, fue separada por tamaños de la siguiente manera: a) Arena gruesa: tamaño mayor de 1.19 mm (pasa tamiz No 8 y retenido en tamiz No 16) y b) Arena fina: tamaño menor de 1.19 mm (pasa tamiz N°16). De esta fracción se analizaron las partículas cuyo tamaño está entre 0.297 mm y 1.19 mm (pasa tamiz N°16 y retenido en tamiz N°50).

Los valores generales de esfericidad y redondez de cada población, se estimaron promediando los valores, asignados a cada partícula, de cada una de estas características y descartando los valores que se alejan de la media.

3.2 Evaluación de propiedades de los morteros

En estado fresco se evaluaron la manejabilidad (facilidad de ser manipulado), la fluidez (NTC 3329) y la retención de agua (NTC 4050).

En estado endurecido se evaluó la resistencia a la compresión medida según la NTC 220 a los 7 y 28 días. La resistencia a la compresión para cada dosificación se tomó como el promedio de tres mediciones, las cuales no difirieron en más del 5%, en relación con la media.

También se midió la resistencia a la adherencia entre el mortero y el bloque cerámico. El procedimiento para el ensayo fue una adaptación del descrito en la NTC3849, para lo cual se desarrollaron los equipos necesarios para la fabricación y montaje de las probetas. Adicionalmente, un mampostero experto elaboró probetas con las dosificaciones

seleccionadas y empleando la cantidad de agua que consideró adecuada para un manejo satisfactorio del mortero.

Para observar la influencia de la cal en esta propiedad se realizaron nuevas probetas con morteros de cemento - arena (natural y reciclada) en dosificación por volumen 1:3.5.

Para este ensayo se elaboraron 18 probetas de dos unidades asentadas perpendicularmente con un tipo de mortero específico. Las probetas fueron curadas 28 días en cuarto húmedo (humedad relativa del 70%) y sometidas a una fuerza de compresión, perpendicular a la cara de asiento inferior, en una máquina universal. El montaje final se observa en la figura 1. Para la determinación de la adherencia las variables que controlaron los resultados fueron las propiedades del mortero tales como su proporción, el contenido de cal y su retención de agua.

3.3 Análisis petrográfico del mortero

Gran parte de las investigaciones, cuyo fin es el de medir y evaluar la calidad de la adherencia entre el mortero y la unidad de mampostería, emplean métodos «macroestructurales» orientados al estudio del comportamiento mecánico de dicha interfase. En vista del amplio rango de resultados contradictorios que se obtienen, las investigaciones han sido encaminadas hacia los métodos «microestructurales», con el fin de examinar con un grado mayor de detalle la interfase mortero - unidad.

Fundamentalmente la adhesión en la mampostería es una propiedad que depende de la microestructura. La tasa inicial de absorción, la porosidad de la unidad, la textura superficial de la unidad y las características de la interfase mortero - unidad son propiedades controladas por la estructura de los materiales a nivel microscópico.

El estudio petrográfico del mortero, realizado mediante las técnicas aplicadas al hormigón (por la similitud entre los dos materiales) permite describir propiedades físicas como permeabilidad, densidad, absorción, porosidad, durabilidad, patrones de fisuras, la distribución de los agregados, la composición porcentual de éstos y de la matriz cementante y la naturaleza de la adherencia entre pasta y agregados,

según esta descrito en la ASTM C856 – 95 (1995) . Dado el alcance de esta investigación y la limitación de los equipos disponibles, el examen petrográfico se realizó mediante un examen visual y estereoscópico, el cual permitió determinar la composición del mortero, la distribución, forma, textura superficial y gradación de los agregados, el color y patrón de falla alrededor de la matriz o a través del agregado.

Las muestras estudiadas, cuya proporción corresponde al mortero tipo M, fueron elaboradas, tanto con arena reciclada como con arena natural, en pequeños moldes cilíndricos de 1 pulgada de diámetro por 1 pulgada de altura, siguiendo el procedimiento empleado para el vaciado de los cubos en el ensayo de resistencia a compresión e igualmente curadas a 28 días, luego de los cuales las muestras fueron pulidas, adaptando el procedimiento descrito en la Norma ASTM D 2797 - 85 para el pulido de muestras de carbón. Con las muestras pulidas, se realizó una serie de fotografías de las secciones, desde una vista general hasta lograr acercamientos que permitieran identificar la forma y distribución de los agregados y las posibles fisuras en la matriz o alrededor de las partículas del agregado fino.

4. Resultados y discusión

4.1 Morfología del agregado

La población del agregado reciclado está compuesta, en su mayoría, por granos en forma de aguja, presentando diversas formas elongadas, laminares, angulares e irregulares, con longitudes mayores al ancho y espesor tal como se puede apreciar en la figura 2a.

Por el contrario, el agregado natural está compuesto de partículas redondeadas, parcialmente limadas o subangulosas, cuyas longitudes son aproximadas al ancho de la partícula, tal como observa en la figura 2b.

Al realizar una clasificación de cada grano del ACR y del agregado natural, se encontró a partir de su esfericidad y redondez (modelo de powers) que los agregados reciclados presentan mayor angulosidad que las partículas de agregado natural.

Sin embargo estos resultados difieren de los presentados por Malhotra (1977), quien encontró que el ACR presenta mayor redondez que el agregado natural debido, probablemente, al tipo de triturador y al tiempo empleado en el proceso de trituración.

En cuanto a la relación de la esfericidad y redondez con el tamaño del grano no fue posible establecer una relación clara entre ellos. Éstas, parece ser que, se conservan independientes del tamaño de la partícula, tal como se aprecia en la figura 5.

La angulosidad de las partículas pertenecientes a la fracción gruesa y la forma un poco más redondeada de las partículas pertenecientes a la fracción fina del ACR proporciona una resistencia mecánica del mortero, comparable con la del mortero convencional dado que hay un mejor acomodamiento de éstas y una mejor densificación de la matriz pasta - agregado.

4.2 Propiedades en estado fresco

Con respecto a la trabajabilidad del mortero, el elaborado con arena natural y arena reciclada son igualmente trabajables en el momento inicial de mezclado, sin embargo, este último tiene menos capacidad para conservar una manejabilidad satisfactoria luego de un lapso de tiempo, 10 minutos aproximadamente, debido quizás al mayor porcentaje de absorción del agregado reciclado.

En la figura 2a, se muestra el requerimiento de agua en cada dosificación para obtener morteros de consistencia plástica. Se observa que la relación a/c , en los morteros elaborados con ACR, no varía en más de un 5% de la relación a/c de los morteros de control.

Con relación a la retención de agua se observa, en la figura 2b, una reducción hasta del 25% en los morteros elaborados con ACR con respecto a los morteros convencionales, sin embargo esta propiedad es mejorada en los morteros con mayores contenido de cal. La Norma NTC 3329 (ICONTEC, 1993), exige una retención mínima de 75%; sin embargo, estudios anteriores (Posada, 1987) muestran que la retención del mortero elaborado con agregado del medio oscila entre 35% y 80%, indicando ésto que la retención de los morteros elaborados con ACR presenta un comportamiento satisfactorio.

4.3 Propiedades en estado endurecido

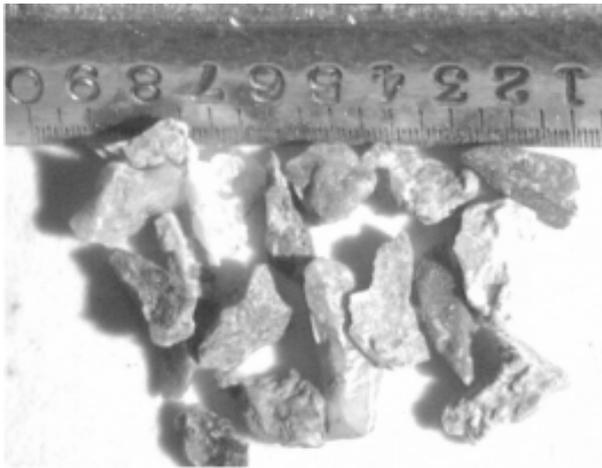
Como se observa en la figura 3, la resistencia a la compresión a 7 días del mortero elaborado con ACR es mayor en un 30%, aproximadamente,



Figura 1. Probeta para el ensayo de adherencia



Figura 2. Fracción de agregado reciclado y natural

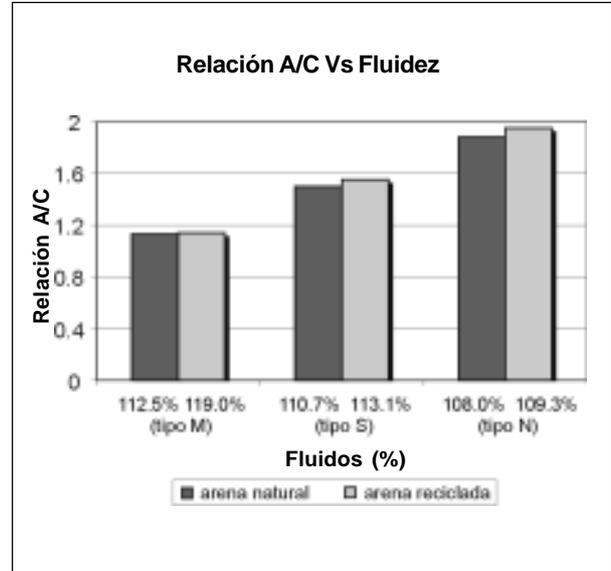


2a

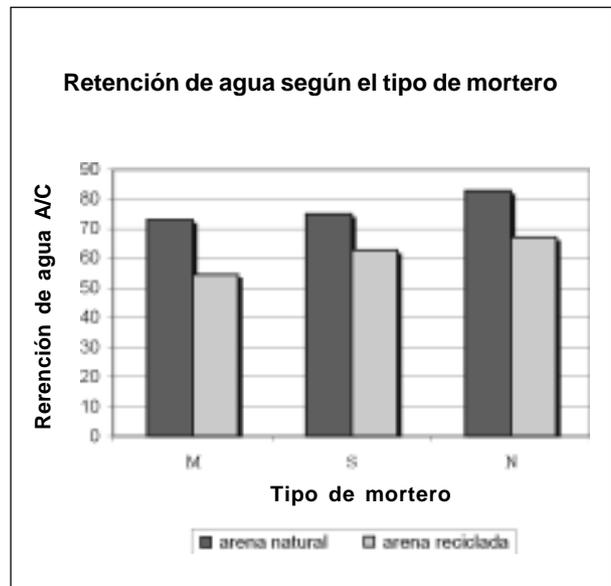


2b

2a. Relación a/c para cada tipo mortero, según la dosificación



2b. Variación de la retención de agua para cada tipo mortero



que la del mortero elaborado con agregado natural. El comportamiento de la resistencia a 28 días cambia, siendo mayor la resistencia de este último en un 10%, aproximadamente. Este comportamiento se presenta posiblemente por la morfología y la presencia de pasta de cemento adherida al agregado. Se podría pensar que la angulosidad de las partículas del ACR favorece el fraguado y la ganancia de resistencia en los primeros días, proceso que puede verse afectado por la pasta de cemento adherida en la superficie de los granos y reflejado en la disminución de la resistencia a los 28 días.

La resistencia del mortero elaborado con arena reciclada es significativamente comparable con la del mortero de control; varía entre 80% y 100% de este último. Estos resultados son similares a los obtenidos por otros autores, como Buck (1977), Malhotra (1977) y Frondistou – Yannas (1977), quienes han trabajado con hormigón. Los valores de resistencia a la compresión a 28 días son ligeramente inferiores a los mínimos exigidos por la NSR 98, tanto en los morteros elaborados con ACR como en los convencionales; esto no significa que sean de menor calidad, simplemente es necesario revisar tales valores establecidos puesto que en la práctica no se cumplen generalmente.

En cuanto a la adherencia, las probetas elaboradas con agregado natural presentan un mejor comportamiento que las elaboradas con ACR. Los resultados de las probetas elaboradas por el mampostero (Ver Tabla 6) presentaron una diferencia significativa con relación a las elaboradas siguiendo el procedimiento de la Norma 3329; varios factores pudieron afectar los resultados de estas últimas, como por ejemplo, la presión ejercida por el martillo de caída, que no es lo suficiente para lograr un contacto máximo de la unidad con el mortero y la homogeneidad en toda su extensión de contacto, la utilización de unidades que no han sido previamente sumergidas, conduciendo a una pérdida mayor de agua en el mortero por la succión de la unidad y la condición de curado seco (al aire del laboratorio).

Tal como se observa en la figura 4, la reducción en la adherencia, en los morteros elaborados con ACR, es hasta del 45% con respecto a las resistencias del

mortero de control. La resistencia por adherencia oscila alrededor de 0.07MPa y 0.08MPa para los morteros Tipo M elaborados con ACR con cal y sin cal, respectivamente; y análogamente alrededor de 0.13 MPa y 0.14MPa para los morteros de control tipo M. Estos resultados son similares a los presentados por Thorman (1971), quien evaluó la adherencia de morteros elaborados con agregados naturales, mediante un método similar al de esta investigación.

El método utilizado y la eficiencia del mismo en la medición de la adherencia son variables de gran influencia en los resultados esperados. Además, la diferencia de la resistencia por adherencia entre el mortero con cal y sin cal es poco apreciable; esto no coincide con la literatura, en donde se afirma que la cal mejora la adherencia entre el mortero - unidad de mampostería significativamente, y confirma que el cemento es en definitiva, el material aglomerante que le da mayor resistencia mecánica al mortero. No obstante, una adecuada combinación del cemento y la cal proporciona al mortero las propiedades deseables en cuanto a su retentividad de agua y a su resistencia.

En la figura 5, se observa que la falla por adherencia se presenta en la interfase mortero - unidad superior, debido a que ésta tiene menor disponibilidad de agua para absorber en el momento de asentado, dado que la mayor parte de agua la ha tomado la unidad inferior (Gallegos, 1992). La falla se produce por el desprendimiento de la tapa inferior del ladrillo superior, por lo que se puede decir que se logró una buena adherencia entre este y el mortero puesto que la capacidad resistente de la unidad de mampostería fue superada por la resistencia por adherencia del mortero.

Con respecto a las condiciones de curado, se observó que la adherencia en las probetas curadas al aire fue menor que la adherencia de las probetas curadas en cuarto húmedo, debido posiblemente a las condiciones fluctuantes de humedad y de temperatura a las que se ve sujeta la probeta curada al aire, lo que impide una completa hidratación del cemento y reduce su resistencia. Esto indica que una variable más que influye en este ensayo es el ambiente de curado en que se conserven las probetas hasta el momento de falla.

Tabla 6. Resultados de resistencia a la adherencia a 28 días

Tipo de mortero	Relación A/C	Carga falla a 28d (kgf) (lbf)	Resistencia a adherencia 28d* (kgf/cm ²) (Mpa)	Coefficiente de variación (%)	Característica de falla
MN (con cal)	1.04	510.29 1125.0	1.28 0.13	11.4	Se desprendió el ladrillo superior con parte del mortero adherido (40% aproximadamente).
MR (con cal)	1.23	291.66 643.0	0.73 0.07	4.13	Se desprendió el ladrillo superior quedando un 25% de mortero, aproximadamente, adherido.
SN (con cal)	1.50	318.87 703.0	0.80 0.08	20.0	Se desprendió el ladrillo superior quedando adherido un 50% de mortero, aproximadamente
SR (con cal)	1.54	250.38 552.0	0.63 0.06	17.3	Se desprendió el ladrillo superior con una fracción de mortero adherida
MN (sin cal)	1.28	560.51 1235.7	1.40 0.14	7.3	Desprendimiento del ladrillo superior.
MR (sin cal)	1.28	319.78 705.0	0.80 0.08	5.24	Se desprendió el ladrillo superior con parte del mortero adherido.

* Los valores de la resistencia a la adherencia corresponden al valor promedio de tres probetas de ensayo.

4.4 Petrografía del mortero

En la figura 6, se observan las micrografías de las secciones pulidas, del mortero elaborado con ACR y con agregado natural, respectivamente

La micrografía del mortero elaborado con ACR muestra una distribución similar del tamaño de los granos en toda su composición, a diferencia del mortero tradicional, que presenta una tendencia a contener acumulación de material más fino en ciertas zonas.

En la figura 7a se realizó un acercamiento de la micrografía presentada en la figura 6a; se puede

reconocer que el mortero con agregado reciclado no presenta fisuras notables que puedan afectar su resistencia, a pesar de que podría pensarse que la angulosidad de los granos pudiera inducir esfuerzos en los extremos generando patrones de fisuras que se extendieran a lo largo de la pasta de cemento.

En la figura 7b, se observa en una pequeña fracción (15% del área total, aproximadamente) la presencia de partículas planas de cemento hidratado en el mortero reciclado, resultantes del proceso de trituración, tal como se muestra en la figura 13, esta puede ser la razón por la cual se presenta una pequeña reducción en la resistencia a compresión con relación al mortero natural.

Figura 3. Resistencia a la Compresión a 7 y 28 días

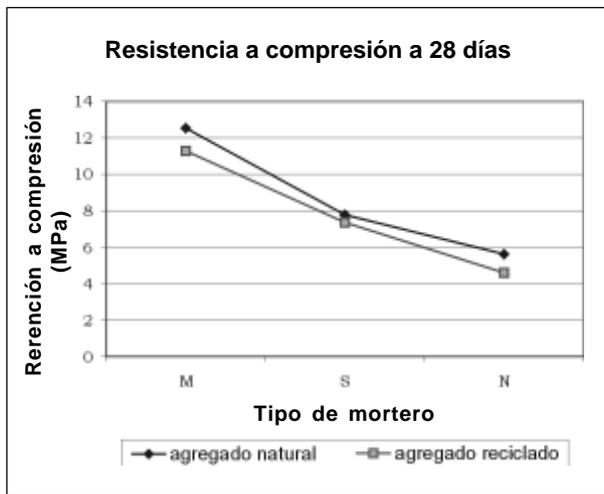
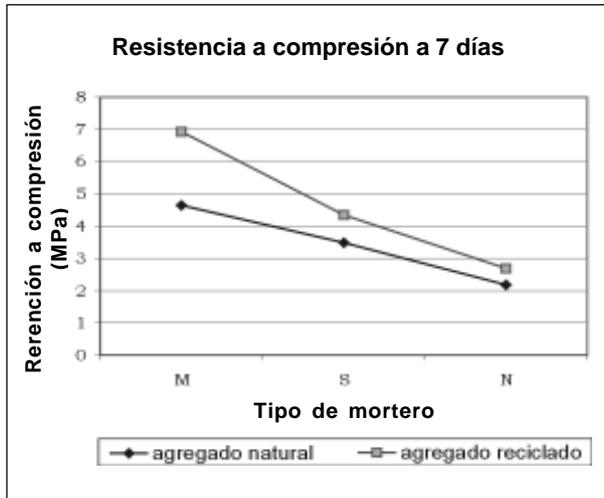


Figura 4 Variación de la Adherencia para cada Tipo de Mortero, según su dosificación

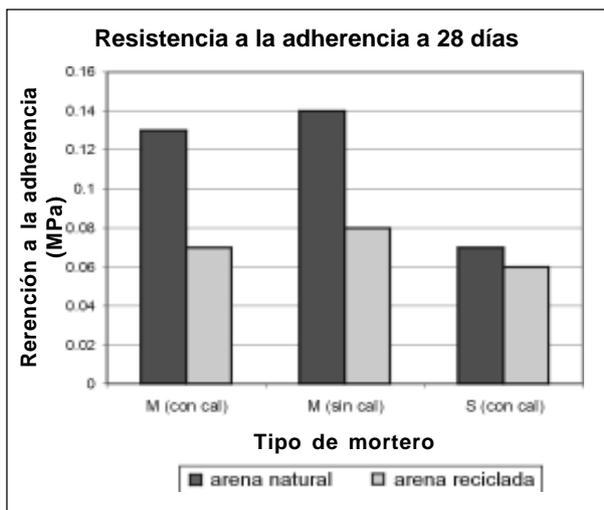
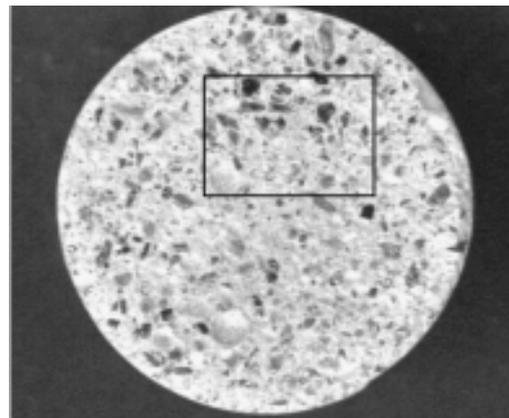


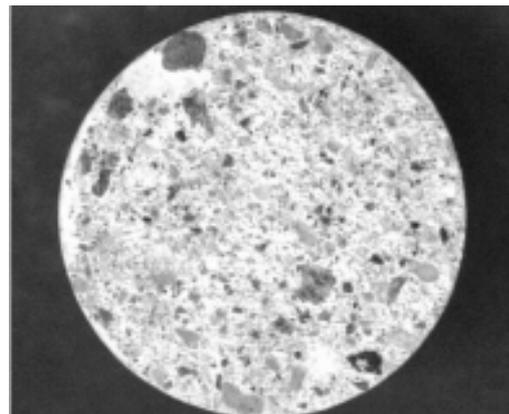
Figura 5. Falla típica en la interfase mortero - ladrillo



Figura 6. (a) Agregado reciclado y (b) Agregado natural

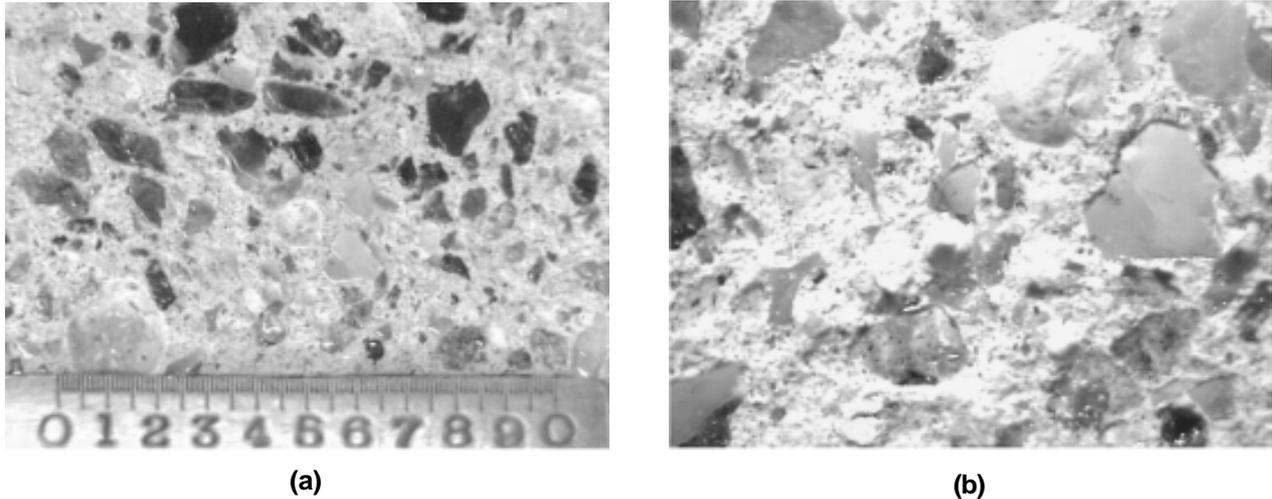


(a)



(b)

Figura 7



Conclusiones

La utilización del agregado reciclado en los morteros, disminuye en cierta medida las propiedades físicas de éste, sin embargo esta reducción no produce alteraciones que puedan comprometer el desempeño de éstos puesto que los valores de sus propiedades están dentro de un intervalo aceptable según las especificaciones de la Normas Técnicas Colombianas. Esto constituye una alternativa y el punto de partida de nuevas investigaciones relacionadas con la reutilización y aprovechamiento de los escombros de demolición en la producción de morteros para la construcción.

Con relación a la adherencia se percibió una reducción de esta en los morteros elaborados con agregado reciclado. El ambiente de curado de las probetas fue a una temperatura controlada y a una humedad relativa mínima del 50% (en cuarto húmedo), ésto puede evitar pérdidas de agua tempranas en el mortero y favorecer la completa hidratación del cemento para lograr una mejor adherencia entre el mortero y la unidad. Por lo anterior, en nuevas investigaciones, se podría evaluar esta propiedad (la adherencia) teniendo como variable adicional el ambiente de curado de las probetas con el fin de determinar su influencia en el comportamiento de la adherencia entre el mortero y la unidad de mampostería.

La variabilidad en los resultados de la resistencia de adherencia es significativa, puesto que el coeficiente de variación oscila entre 4% y 20%, pero normal para este tipo de ensayos, dada la cantidad de variables que influyen en los resultados, relacionadas con la proporción del mortero, las condiciones de elaboración y curado de las probetas y el tipo de unidad.

Desde el punto de vista microestructural, el agregado reciclado presenta granos más angulosos y alargados que los granos del agregado natural, una pequeña fracción de este agregado, son partículas de cemento planas y de textura lisa provenientes de la trituración del hormigón, que no afectan considerablemente las propiedades del mortero.

Bibliografía

American Society for Testing and Materials (1995). Standard practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete. Philadelphia. 15p. il (ASTM C- 856).

Alvarez Cabrera, Jorge Luis; Urrutia Rodríguez, Andrés y Lecusay, Débora. (1997). Morteros de albañilería con escombros de demolición. En: *Materiales de Construcción*. Madrid. Vol 41. No. 246 (Ab / Jun, 1997). pp. 43 - 51.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (1998). Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente. Tomo 1. Título D. Capítulo D.3. P. D 13 - 16

Buck, Alan D. (1977). Recycled Concrete as a Source of Aggregate. En: *Journal of the American Concrete Institute*. Detroit. Vol 41. No 5 (May, 1977). pp. 212 - 220.

Corporación Fundemos (1991). Reutilización de Subproductos de la Industria de la Construcción: Estudio de factibilidad. Medellín.

Departamento Administrativo de Planeación Metropolitana. (1997) Lineamientos Básicos para un Plan Ambiental para el Municipio de Medellín. Medellín: Departamento Administrativo de Planeación Metropolitana.

Frondistou – Yannas, Stamatia (1977). Waste Concrete as Aggregate for a New Concrete. En: *Journal of American Concrete Institute*. Detroit. Vol 74. No 8. (Aug, 1977). pp. 373 - 376.

Gallegos, Hector. (1992). Mortero. En: *Simposio Internacional sobre Mampostería Estructural y Arquitectónica: Memorias (1992: Medellín)*. Instituto Colombiano de Productores de Cemento. Medellín: ICPC. pp. 67 - 110.

González Moradas, M.; Torres, Alonso; Cedés, M. (1991). Características Morfométricas de las Cenizas Volantes. En: *Ingeniería Civil*. España. No 78 (Ene / Mar, 1991). pp. 31 - 34.

Hamassaki, Luiz T; Neto, Claudio S. y Florindo, María C. (1996). Utilisation of Construction Waste in Rendering Mortar. En: *Concrete in the Service of Mankind: Proceedings of the International Conference*. London: E & FN SPON. Vol 5. pp. 485 - 494.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas (1993). Agregados usados en morteros de Mampostería. Primera Revisión. Bogotá: ICONTEC. 5p. il (NTC 2240).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas (1993). Mortero para Mampostería. Primera Revisión. Bogotá: ICONTEC. 26 p. il (NTC 3329).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas (1993). Método de ensayo para Medir la Retención de Agua en los Morteros de Cemento Hidráulico. Bogotá: ICONTEC. 18p. il (NTC 4050).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas (1993). Método para Determinar la Resistencia a la Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico Usando Cubos de 50mm de Lado. Segunda Revisión. Bogotá: ICONTEC, 1993. 6p. il (NTC 220)

Instituto Colombiano de Normas Técnicas (1993). Método de ensayo para determinar la Resistencia por Adherencia entre el Mortero y las Unidades de Mampostería. Bogotá: ICONTEC. 18p. il (NTC 3849).

Malhotra, V Mohan. (1977). Uso del Concreto Reciclado. En: *Simposio Internacional sobre Tecnología del Concreto*. (3: 1977: Monterrey). México. pp. 197 - 230

Ploger, R. (1947). An Investigation of the Compressive Strength of Concrete in which Concrete Rubble was Used as Aggregate. Ithaca, MS Thesis, Cornell University.

Posada Agudelo, Santiago y Salgado Gutierrez, Rodrigo(1987). Efecto del Mortero de Pega en los Muros de Mampostería Estructural. Medellín. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Departamento de Ingeniería Civil. 123 p.

Powers, M. C. (1953.) A New Roundness Scale for Sedimentary Particles. En: Journal Sed. Soc. Geol. Petrology. Vol 23. pp. 117 - 119.

Thormann, Peter (1971). Contribución a la Determinación y la Influencia de la Adherencia entre Ladrillos Silico - Calcáreos y Morteros. En: Materiales de Construcción. Madrid. No 141 (ENE / MAR; 1971). pp. 61 - 73.