

# Caracterización tecnológica de morteros y hormigones con escombros de albañilería triturados y molidos. Parte II

**Rubén A. López, Marcelo A. Masckauchan, Carlos A. Di Salvo, José L. Verga, Alfredo M. Graich**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Civil, Mozart 2300, (C1407IVT), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

*lopezalberto49@hotmail.com*

*Recibido el 19 de diciembre de 2013, aprobado el 20 de febrero de 2014*

## Resumen

En este trabajo se analizan y fundamentan los resultados obtenidos en ensayos de morteros utilizando escombros de albañilería como agregado. Estos valores experimentales fueron ya publicados en *Proyecciones*, Año 11, N°1. Asimismo se presentan los resultados de ensayos realizados para la determinación de parámetros físico-mecánicos de hormigones con adición de escombros, siguiendo una metodología similar a la desarrollada en morteros, tal como se describió para aquellos. Se incluyen también diversas comparaciones y conclusiones. Estos desarrollos forman parte del proyecto de investigación denominado "Factibilidad técnica y económica en la reutilización de escombros de albañilería resultantes de la demolición y la construcción".

**PALABRAS CLAVE:** ESCOMBRO MOLIDO – REUTILIZACION – MORTEROS – HORMIGONES – RESISTENCIA

## Abstract

In the present paper results obtained from testing of mortars containing rubbles of masonry are discussed and explained. These experimental values have been published in *Proyecciones*, Año 11, N°1. Results of test developed to characterize physical-mechanical parameters of concretes with masonry rubbles addition, are also shown. In the present case a similar methodology to the one for mortars is applied, as has been described in the said paper. Several comparisons and conclusions are enclosed. All these results belong to the research project "Technical and economic feasibility in the reutilization of resultants rubbles of masonry of demolition and construction".

**KEYWORDS:** GROUND RUBBLE – REUTILIZATION – MORTARS – CONCRETES – RESISTANCE

<sup>1</sup> Son también autores de este artículo: Silvio A. Bressan, Natalia Tojo, Nahuel Bonfante

## Introducción

En la primera etapa del desarrollo del Proyecto de Investigación denominado "Factibilidad técnica y económica en la reutilización de escombros de albañilería resultantes de la demolición y construcción", se realizaron ensayos en los que se determinaron distintos parámetros que permitieron establecer las propiedades técnicas de morteros destinados a mezclas de asiento para mampostería y a revoques, reemplazando parte del agregado fino por escombros de albañilería molido (López et al., 2013).

Se obtuvieron parámetros físicos y mecánicos considerados significativos mediante los siguientes ensayos realizados en el Laboratorio de Ingeniería Civil:

- Ensayos para la caracterización de los materiales utilizados.
- Ensayos para la determinación de parámetros físicos y mecánicos de una mezcla de referencia y las mezclas con escombros molido:
  - Ensayos a la compresión.
  - Ensayos a la flexión.

Se recuerda que los morteros que se ensayaron respondían a las especificaciones que figuran en la Tabla 1.

Los resultados mostraron un aumento considerable de la resistencia a la flexión y compresión en morteros en los que se reemplazó parte de la arena silícea por escombros de albañilería molido, llegando en el caso del Mortero 3 (donde el agregado es mitad arena y mitad escombros molido) a triplicar la resistencia a la compresión.

Se plantearon dos hipótesis para explicar este comportamiento: en primer lugar el aumento de la fracción de partículas que pasan el tamiz N° 200. Esto implica una reducción de los espacios vacíos y por lo tanto mayor compacidad del mortero. En segunda instancia y en menor medida, por la aparición de cierta capacidad aglomerante adicional aportada por el carácter hidraulizante de la mezcla de cerámica finamente molida (proveniente del escombros) con el hidróxido de calcio (la cal hidráulica).

## Determinación de la compacidad en las muestras de morteros

A fin de conocer si los aumentos en las propiedades resistentes tenían una correlación con la posible mayor compacidad (es decir reducción de vacíos intercomunicados), se realizaron ensayos de velocidad de tránsito de una onda ultrasónica, según la Norma Iram 1683 (1990) "Método para la determinación de la velocidad de pulsos ultrasónicos en hormigones de cemento portland y densidades de los materiales." Las determinaciones de ultrasonido se realizaron mediante un equipo NDT (*Non Destructive Testing System*) James Instruments Inc. UTN FRBA N° 59505, mientras que las determinaciones de densidad se llevaron a cabo mediante la metodología expuesta en la Norma Iram 1729 (1997) "Mortero de Mampostería, Determinación de la densidad aparente." Los valores obtenidos se registran en la Tabla 2.

Como se observa en ella, los ensayos de tiempo de tránsito de onda ultrasónica muestran valores crecientes, desde el obtenido para el Mortero (de referencia): 2118 m/s, pasando por un valor intermedio de 2161 m/s para el Mortero 2 (25% de material molido) y llegando a un valor máximo en el Mortero 3 (50% de material molido) de 2317 m/s, aproximadamente un 9,5% más que en el de referencia.

Por un lado se observa la reducción de densidad a medida que aumenta la proporción de escombros de albañilería molido como agregado, lo que se explica por la menor densidad del mismo respecto la arena silícea, dado que las partículas cerámicas presentan huecos interiores. Sin embargo los valores de velocidades ultrasónicas obtenidos, muestran una tendencia al aumento de velocidad a medida que la mezcla contiene más escombros de albañilería, ella implica un aumento de compacidad del mortero y por lo tanto una reducción de los espacios vacíos. Esto se puede explicar por la presencia de una fracción fina, que provee principalmente el polvo de ladrillo, dentro del escombros molido, cuyas partículas obturan los huecos de menor dimensión. Es decir, que los ensayos de ultrasonido confirmaban esta hipótesis planteada en la etapa anterior del proyecto.

	<b>Mortero 1 (DE REFERENCIA)</b>	<b>Mortero 2</b>	<b>Mortero 3</b>
Denominación	Mortero hidráulico reforzado (MHR)	Mortero hidráulico reforzado mixto (MHRM)	Mortero hidráulico reforzado mixto (MHRM)
Cal hidráulica	1	1	1
Cemento	1/4	1/4	1/4
Arena	4	3	2
Escombros de albañilería molido	-	1	2

**Tabla 1. Relaciones en volumen**

<b>Parámetros</b>	<b>Mortero 1</b>	<b>Mortero 2</b>	<b>Mortero 3</b>
Densidad absoluta (g/cm <sup>3</sup> )	1,884	1,860	1,799
Tiempo pasaje de onda (microseg.) Probeta 1	75,39	74,03	69,07
Tiempo pasaje de onda (microseg.) Probeta 2	76,15	74,03	69,07
Tiempo pasaje de onda (microseg.) Probeta 3	75,12	74,03	69,07
Tiempo pasaje de onda (microseg.) Promedio sobre las 3 probetas	75,55	74,03	69,07
Velocidad de pulso ultrasónico (m/seg)	2118	2161	2317

**Tabla 2. Valores de tiempo de tránsito de una onda ultrasónica y densidades de morteros**

## Morteros

### Verificación de resultados obtenidos

Con relación a la publicación del año 2013 Revista Proyecciones, año 11, N°1, se decidió realizar nuevos ensayos de morteros, con objeto de extender la serie estadística y verificar los resultados anteriormente obtenidos. En este caso se efectuaron otras seis probetas para cada mortero con igual dosificación a la de las ya realizadas (presentada en la Tabla 1). Los pesos de agua de mezcla utilizados en cada uno de los tres casos se establecieron fijando como criterio el obtener pastas de igual consistencia, adoptando un valor de 10%, determinado según la norma IRAM 1570/1994 "Determinación de la consistencia por el método de escurrimiento".

### Determinación de la resistencia a la compresión

Se moldearon 6 probetas prismáticas de cada mortero siguiendo los lineamientos de la Norma IRAM 1622/2006. De cada mortero se ensayaron 6 probetas de cada uno, a los 14 y 28 días de edad. Cabe aclarar que cada probeta permite realizar un ensayo de flexión y a partir del mismo dos ensayos de compresión.

En esta oportunidad se utilizó un marco de carga marca OMNIA con digitalización y visualización en pantalla de la carga aplicada y de las consiguientes deformaciones obtenidas. Esta modernización del equipamiento permite apreciar en forma más clara los resultados respecto a los ensayos realizados en la primera etapa.



En la fotografía N°1 se visualiza el equipamiento y en la Fig.1 se muestran los resultados de un ensayo a flexión.

### Informe de ensayo

Número: M1- 6- 14 d (21-11-13) Observaciones: PID C 127

Fecha: 21/11/13 Hora: 18:07:10

Responsable: Ing. Rubén López

Sección inicial [mm]: 1600,0

Espesor inicial [mm]:40

Ancho inicial [mm]: 40

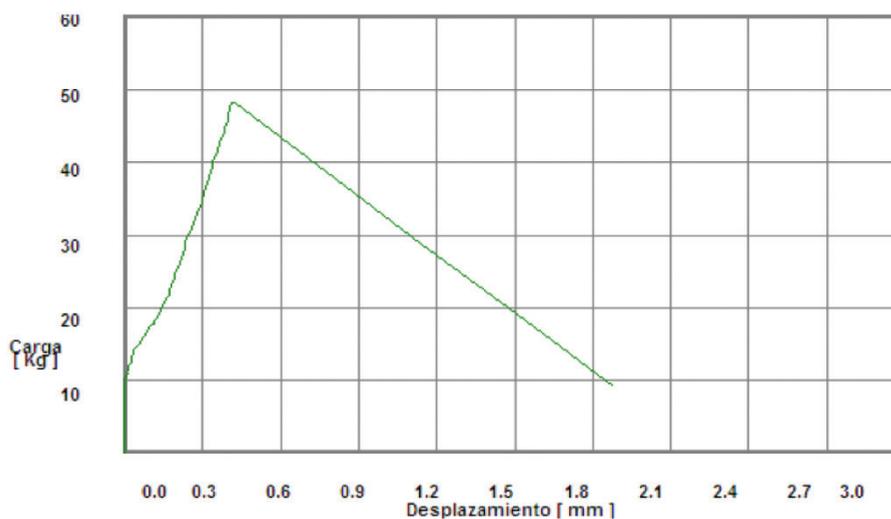
Fluencia [kg]: 10,60 T. Fluencia [MPa]: 0,1

Carga máxima [kg]: 48,10

Tensión máxima [MPa]: 0,2

Resistencia flexión [kg/cm<sup>2</sup>]: 0,00

Distancia entre apoyos [mm]: 100



**Fig 1. Ensayo de flexión con medición de desplazamientos**

Edad del mortero	7 días	14 días	28 días
Mortero 1	No se realizaron	1,64	1,76
Mortero 2	No se realizaron	2,39	2,40
Mortero 3	No se realizaron	4,25	5,85

**Tabla 3. Resistencia promedio a la compresión en MPa**

Los resultados promedio de resistencia a la compresión de cada tanda se indican en la Tabla 3.

Como se puede observar los resultados nuevamente expresan un considerable aumento de resistencia a medida que se aumenta la fracción de escombro de albañilería molido. Por lo tanto se confirman los resultados obtenidos en la primera etapa de este proyecto.

## Hormigones

### Caracterización de los materiales utilizados en las mezclas a ensayar

Con el propósito de determinar el desempeño de hormigones para albañilería (es decir hormigones para contrapisos y rellenos no estructurales) se propuso trabajar en forma similar a lo ya planteado para el caso de los morteros, con tres mezclas diferentes. El Hormigón 1 o de referencia, utiliza como ligante cal hidráulica con la incorporación de una pequeña proporción de cemento Portland para aumentar su capacidad

de desarrollo y de resistencia mecánica, como agregado grueso, escombro de albañilería reducido a cascotes y como agregado fino, arena silícea del río Paraná. Es decir, que se trata de un hormigón típico para contrapisos.

Los otros hormigones tienen los mismos ligantes y agregado grueso, repitiendo también las proporciones. En cambio, se variaron las características del agregado fino: en el Hormigón 2 se reemplaza  $\frac{1}{4}$  en volumen de la arena silícea por escombro de albañilería molido, mientras que en el Hormigón 3 el reemplazo propuesto es de  $\frac{1}{2}$  en volumen del árido fino original.

Se visualiza la composición de las tres mezclas propuestas en volumen en la Tabla 4.

Se elaboraron 4 probetas para cada tipo de hormigón (1, 2 y 3). En este caso, para la determinación de la proporción de agua se adoptó como parámetro el asentamiento de la mezcla fresca con el cono de Abrams (ver Fotografía N° 2), fijando un asentamiento de 5 cm (+ 0,5 cm).



**Fotografía N° 2: Cono de Abrams**

	<b>Hormigón 1</b>	<b>Hormigón 2</b>	<b>Hormigón 3</b>
Denominación	Hormigón hidráulico reforzado pobre (HHRP)	Hormigón hidráulico reforzado pobre mixto (HHRPM)	Hormigón hidráulico reforzado pobre mixto (HHRPM)
Cal hidráulica	1	1	1
Cemento	1/4	1/4	1/4
Arena	3	2 1/4	1 1/2
Escombro de albañilería molido	--	3/4	1/2
Escombro de albañilería (cascote)	3	3	3
Agua	16,6%	16,76%	17,14 %

**Tabla 4. Relaciones en volumen**

<b>Probeta</b>	<b>Edad: 28 días</b>
Hormigón 1	1,125
Hormigón 2	1,620
Hormigón 3	1,575

**Tabla 5. Resistencia promedio a la compresión (en MPa)**

Con las mezclas así obtenidas se conformaron probetas cilíndricas y posteriormente se efectuaron los ensayos a la compresión de las mismas a los 28 días. Estos ensayos se realizaron según los lineamientos de la Norma IRAM 1546, "Hormigón de cemento Portland. Método de ensayo de compresión." e IRAM 1709 "Hormigón. Método para el uso de encabezado con placas de elastómero en la determinación de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas." En la Tabla 5 se presenta el resultado de las resistencias a la compresión promedio (de las cuatro probetas).

En este caso se manifiesta también un aumento de la resistencia respecto de la mezcla de referencia (Hormigón 1) en los hormigones donde se reemplaza parte de la arena silícea por escombro de albañilería molido, del 44% en el caso del Hormigón 2 y del 40% para el Hormigón 3. A diferencia del caso de los morteros, la mayor proporción de escombro de albañilería molido (caso del Hormigón 3) no produce un cambio significativo. Incluso resultó, al menos en este caso, una pequeña reducción de resistencia, aunque no relevante pues la diferencia en la resistencia a la compresión entre los dos hormigones con escombro de albañilería molido es apenas del 2,8 %. Podría pensarse que en este caso la aparición de la fracción fina nuevamente genera una mayor compacidad pero que su aumento no modifica sustancial-

mente la situación en una distribución granulométrica donde la presencia de agregado grueso (cascote) genera la presencia de espacios vacíos de mayores dimensiones que en los morteros y que no pueden ser ocupados por dicha fracción fina.

#### **Protocolo de procedimientos básicos para la separación de escombros de albañilería en obra**

Aceptando que los morteros y hormigones para albañilería obtenidos reemplazando parcialmente el agregado fino de arena silícea por escombro de albañilería molido son, como mínimo, tan aptos técnicamente como el material sin dicho reemplazo, el siguiente paso que se propone el Proyecto de Investigación es tratar de determinar los posibles beneficios económicos y ambientales del reciclado de este material (Bressan et al., 2008).

Los residuos de construcción y demolición conforman un impacto significativo en las obras de la industria de la construcción en función de su magnitud y heterogeneidad (Municipalidad de Rosario, 2009). Dado que ya son poco viables los lugares de disposición final, el Proyecto plantea efectuar su análisis considerando el reciclado del material en la misma obra en que se genera. Dicha generación es producto de la demolición de construcciones preexistentes en el

predio y de los restos que se producen durante la construcción, ya sea por excedentes de material al producirlo o al aplicarlo (por ejemplo, en revoques), o por demoliciones producto de los procesos constructivos (por ejemplo, canalizaciones para instalaciones) o de modificaciones que se efectúan durante la ejecución de los trabajos.

Un primer paso que debe efectuarse es generar un programa de Gestión de Residuos de la Construcción y Demolición, a aplicarse en las obras. El principio a seguir debería ser: Minimizar la generación, Reuso de los materiales y Reciclar. Este principio es posible si se realiza una separación y recolección selectiva considerando las siguientes ventajas:

- Mediante la separación y recolección selectiva se reduce el volumen aparente de los residuos generados al disminuir los espacios huecos del contenedor.
- Se coadyuva al orden y gestión de obra.
- La Gestión de Residuos solo es posible con una separación y recolección selectiva de residuos.

Técnicamente es imposible reciclar residuos mezclados, pues tienen propiedades físicas y químicas diferentes, e incluso puede verse afectada la maquinaria empleada en el proceso de valorización.

Se puede concluir entonces, que la gestión de los residuos en la obra debe empezar por su separación selectiva. Para ello una clasificación básica sería separar según:

- Residuos inertes. Escombro limpio: ladrillos, ladrillo con mortero sin yeso, tejas, baldosas rajadas con o sin mortero, hormigón fraguado, mortero fraguado.
- Residuos no peligrosos. Metales, maderas sin tratar, papel, cartón, plásticos, vidrios, yesos.
- Residuos peligrosos. Aceites, desencofrantes, adhesivos sintéticos, asfaltos, pinturas y barnices, maderas tratadas, asbestos, siliconas, decapantes, diluyentes, materiales de aislamiento térmico, metales pesados, entre otros.

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados se puede pasar a proponer una serie de procedimientos básicos que podrían conformar un

protocolo de tratamiento de estos residuos en obra con objeto del aprovechamiento y reciclado del escombro de albañilería apto y la correcta disposición final del resto:

1. Demolición selectiva de obra.
2. Capacitación de personal para proceder a la separación selectiva.
3. Disposición de la maquinaria necesaria para el movimiento, acopio, retire y/ o posterior reuso y trituración o molienda de materiales.
4. Disposición de espacios para el almacenamiento de los materiales dentro de la obra.
5. Disposición de espacios para maquinaria de molienda de Residuos Inertes.
6. Ubicación de contenedores convenientemente identificados por tipología, teniendo en cuenta que para los inertes no es necesario un contenedor para el acopio.
7. Separación de residuos según la clasificación en Inertes, No peligrosos y Peligrosos.
8. Proceder al acopio selectivo de cada tipología.
9. Supervisión de los residuos que se generan para cuantificar los mismos.
10. Proceder al retiro de la obra de los residuos previamente separados en no peligrosos y peligrosos.
11. Proceder a la trituración de los Residuos Inertes.
12. Separación y clasificación básica de granulometría (fino y grueso) a través del uso de zarandas.
13. Supervisión de resultados.
14. Acopiar el material molido resultante, separado de acuerdo a su granulometría.
15. Reutilización de materiales inertes de acuerdo a la dosificación establecida.

## Conclusiones

De las investigaciones realizadas se puede concluir que:

- Los nuevos ensayos de morteros ratifican el aumento de resistencia a la flexión y a la compresión del material obtenido utilizando escombros de albañilería molido como agregado fino, reemplazando parcialmente a la arena silícea.
- La presencia de una fracción fina (pasa el tamiz N° 200) que introduce el escombros de albañilería molido aumenta la compacidad (es decir la reducción de vacíos) del material, la que justificaría su aumento de resistencia.
- En el caso de hormigones no estructurales para relleno, el aumento de resistencia también se verifica y es importante (alrededor de un 40 %), aunque una mayor proporción de

reemplazo de arena por el escombros de albañilería molido no produce en este caso cambios significativos.

- Se puede considerar que el material obtenido, tanto en el caso de morteros como en el de hormigones, es técnicamente apto pues en todos los casos, a igual consistencia, mejora los valores de resistencia. La presencia de material cerámico haría pensar que al menos se mantiene la capacidad de aislación térmica, aunque este aspecto escapa al objeto de estudio de este Proyecto.

Estas consideraciones permiten pasar a la última etapa del Proyecto de Investigación a efectos de establecer los beneficios económicos y ambientales que se podrían lograr con el reciclado de escombros de albañilería en obra, a través de su separación, molienda y uso como fracción fina en morteros y hormigones para trabajos de albañilería.

## Referencias

- BRESSAN, S. et al, 2008, "Investigaciones ambientales en el Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Buenos Aires: su potencialidad pedagógica y formativa." Revista Proyecciones - Publicación de Posgrado e Investigación de la Facultad Regional Buenos Aires, UTN, Vol. 6, No 1. pp. 43-51.
- LOPEZ, A. R. et al., 2013, "Caracterización tecnológica de morteros escombros de albañilería molido. Proyecciones, - Publicación de Posgrado e Investigación de la Facultad Regional Buenos Aires, UTN- Vol. 11, N° 1. pp. 91-99.
- MUNICIPALIDAD DE ROSARIO, 2009, "Buenas prácticas ambientales en la construcción", [www.cimpar.org.ar](http://www.cimpar.org.ar)
- NORMA IRAM 1622, 2006, "Cemento Portland. Métodos para la determinación de la velocidad de pulsos ultrasónicos." 17 pp. Buenos Aires.
- NORMA IRAM 1683, 1990, "Hormigón de Cemento Portland. Métodos de laboratorio de determinación de las resistencias a la compresión y a la flexión." 25 pp. Buenos Aires.
- NORMA IRAM 1570, 1994, "Morteros para mampostería. Determinación de la consistencia. Método de escurrimiento." 6 pp. Buenos Aires.
- NORMA IRAM 1729, 1997, "Morteros para mampostería. Mortero fresco. Determinación de la densidad aparente." 11pp. Buenos Aires.
- NORMA IRAM 1546, 1992, "Hormigón de Cemento Portland. Método de ensayo de compresión." 12 pp. Buenos Aires.
- NORMA IRAM 1709, 2002, "Hormigón. Método para el uso de encabezado con placas de elastómero en la determinación de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas." 13 pp. Buenos Aires.