

MORTEROS SUSTENTABLES: ESTUDIO DE ADHERENCIA DE MORTEROS CON INCORPORACION DE CAUCHO RECICLADO

Rosa Carina Andrada (carina_andrada@hotmail.com); Virginia Mugetti (vikymugetti@hotmail.com); Florencia Gutierrez (fgutierrezcorujo@gmail.com); Bárbara Belén Raggiotti (belenraggiotti@gmail.com); Francisco Ludueña (franludu07@gmail.com)

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN-FRC), Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Materiales y Calidad (CINTEMAC) - Arg.

Palabras clave: morteros, caucho reciclado, sustentabilidad, adherencia

El presente trabajo surge de la necesidad de encontrar alternativas de reutilización y reciclado de materiales que son considerados desechables, como son los neumáticos fuera de uso. La disposición final hoy en día no tiene una respuesta eficaz, suele ser una acumulación a cielo abierto de grandes volúmenes constituyendo una problemática ambiental e impactando en la calidad de vida de las personas. En una investigación anterior se elaboraron morteros de cemento en los que se reemplazó arena por caucho triturado en los que se evidenciaron mejoras en las propiedades térmicas y menor densidad.

Teniendo en cuenta ese antecedente se genera el estudio de morteros de cemento y cal como aglomerantes, y arena como agregado inerte. Se diseñaron morteros de cemento-cal-arena 1:1:6, y con morteros con reemplazo de 5%, 10% y 15% de arena por caucho triturado. Se ensayaron estado fresco consistencias y tiempos de utilización, y en estado endurecido resistencias mecánicas a la flexión, compresión y adherencia. La adherencia es una propiedad poco estudiada a pesar de ser fundamental en la aplicabilidad en obra de morteros. Es la capacidad del mortero para absorber tensiones normales o tangenciales a la superficie de la interface mortero-base, indicando la resistencia a la separación del mortero sobre su soporte, y fue medida con Pull Off sobre ladrillos block revocados con las diferentes dosificaciones.

La metodología de trabajo consistió en la caracterización los materiales a utilizar, ensayos en estado fresco y endurecido, y comparación de los resultados con las exigencias de la normativa vigente. Los resultados demostraron que morteros de cemento y cal con la incorporación de 5%, 10% y 15% de caucho en reemplazo de arena resultan factibles de aplicación en obra por su tiempo de utilización y resistencias mecánicas. Además, presupone una mejora ambiental debido a la reutilización de desechos de neumáticos para la industria de la construcción.

1. INTRODUCCIÓN

La problemática actual del consumismo desmedido de la sociedad ha generado una cultura de productos desechables lo cual presenta dos problemáticas potenciales: la primera es el agotamiento de recursos y el gran consumo energético en la manufactura de productos y la segunda, la disposición final de los residuos generados.

En busca de soluciones a esta problemática, y como antecedentes a este estudio, desde el Laboratorio de Materiales de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba, conjuntamente con el Centro de Investigaciones de Materiales de construcción CINTEMAC, se han desarrollado morteros con residuos de construcción de obra triturados como parte de agregado inerte, verificando su aplicación en obra [1]. También se abordó la problemática de reutilización de residuos de difícil disposición final usando cenizas de cascara de maní y girasol como adición [2] y como porcentaje de

sustitución de cemento [3]. También se utilizaron zeolitas naturales en polvo como reemplazo de un porcentaje de aglomerante logrando morteros sustentables por la disminución de uso de cemento y a la vez mejorado las características de conductividad térmica de los morteros resultantes [4].

El caso particular de los neumáticos en desuso o correas no posee una respuesta eficaz en el mundo, y es una problemática que afecta directamente en el medio ambiente y en la calidad de vida de las personas, debido a que es un residuo que su degradación lleva demasiado tiempo y son voluminosos en su disposición final. Se plantea esta investigación para contribuir a la inclusión de estos elementos al sistema, reutilizando el caucho triturado en la industria de la construcción como parte inerte en los morteros de albañilería, tanto morteros de unión como revoque.

Es conocido que la trituración de los productos fuera de uso de caucho tiene utilidades muy variadas como aditivos de mezclas en asfaltos para caminos, superficies de pistas deportivas, etc. Los elastómeros o cauchos son materiales poliméricos cuyas dimensiones pueden variar según sea el tipo de esfuerzo al que son sometidos, volviendo a su forma cuando el esfuerzo se retira. Teniendo en cuenta esas características elásticas, baja densidad, compatibilidad con el cemento y estabilidad química del caucho se inició una línea de investigación incorporando caucho a morteros cementicios buscando mejorar la aislación térmica y disminuir peso estructural [5].

En esta etapa de investigación se desarrollaron morteros, para ser aplicados como revoques y/o morteros de juntas, utilizando como aglomerantes cemento y cal y como agregados inertes arena y caucho triturado. El patrón de comparación fue un mortero 1:1:6 designado MPCC y 3 morteros con sustitución del 5, 10 y 15 % de arena por caucho triturado designados MCC5, MCC10 y MCC15 respectivamente. Se dosificaron con el parámetro de consistencia y en estado fresco se determinaron además los tiempos de utilización como un parámetro para verificar su aplicabilidad en obra. Se moldearon probetas para determinar propiedades mecánicas de resistencias a compresión y flexión y para calcular densidades. A estos ensayos se les sumó el de adherencia. La adherencia es la propiedad que poseen los morteros de pegarse a los materiales con los cuáles está en contacto. Se utilizó un medidor digital de adherencia *Pull Off* con capacidad máxima de carga de 16 KN, y siguiendo los lineamientos de Norma IRAM 1764 [6].

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general:

Incorporar del caucho reciclado triturado como parte de agregado inerte en morteros de cemento y cal, sin que se vean afectadas las propiedades de los morteros.

2.2. Objetivos particulares:

Verificar del comportamiento del mortero con incorporación de caucho triturado en reemplazo en diferentes porcentajes de arena.

Verificar las propiedades elásticas del caucho, baja densidad, compatibilidad con el cemento y estabilidad química.

Verificar que las propiedades físicas y mecánicas encuadren dentro las normativas de morteros en la República Argentina.

Verificar que el tiempo de utilización de la mezcla con reciclado se apto para su aplicabilidad en obra.

Verificar que la adherencia de los morteros con reciclado sea compatible con lo exigido por la normativa.

3. METODOLOGÍA

El desarrollo del plan experimental consistió en el diseño de cuatro mezclas de morteros diferentes. El mortero patrón que se utilizó para comparar se denomina MPCC compuesto por cemento portland y cal como aglomerantes, y como agregado natural arena. Su dosificación es 1:1:6 cemento:cal:arena. El resto de las mezclas son una variación de esta primera sustituyendo parte del agregado por un 5%, 10% y 15% por caucho triturado, designadas como MCC5, MCC10 y MCC15 respectivamente.

Se caracterizaron los materiales, y se dosificaron los morteros proponiendo una consistencia de diseño según lo establece norma IRAM 1676 [7]. Se determinaron en estado fresco las consistencias y tiempos de utilización.

Para los ensayos en estado endurecido se confeccionaron probetas de 4 x 4 x 16 cm para calcular las resistencias a compresión y a flexión a 7 y 28 días. Sobre estas probetas se determinaron las densidades. Las muestras para el ensayo de adherencia por el método de *Pull Off* se realizaron revocando 2 cm de cada mortero sobre ladrillos bloque de hormigón de 19 cm x 39 cm x 12 cm. Las adherencias se determinaron a 7 y 28 días.

Finalmente, los resultados de todas las series se compararon y se verificaron si encuadraban en la normativa vigente.

3.1. Caracterización de los materiales utilizados

Se realizaron las caracterizaciones físicas de los materiales a utilizar en la elaboración de mortero: cemento, cal aérea hidratada, arena y caucho triturado.

3.1.1. Aglomerantes

Cemento portland con *filler* calcáreo denominado CPF40, de procedencia de la provincia de Córdoba. Es un Cemento portland de uso general, apto para estructuras de hormigón armado, según Norma IRAM 50.000, cuya resistencia mecánica mínima exigida a compresión a 28 días es de 40 Mpa. Densidad= 3,02 g/cm³.

Cal aérea hidratada, para mejorar la trabajabilidad del mortero, de procedencia provincia de Córdoba. Cumple requisitos Norma IRAM 1626 Cales Clase A.

3.1.2. Agregados pétreos

La arena presentaba partículas de forma redondeada, de origen natural de cauces de ríos de Córdoba. La muestra analizada no contenía impurezas, sales ni tierra. Se caracterizó con peso específico, módulo de finura y porcentaje de absorción según Norma IRAM 1520 [8]. En Tabla 1 se presentan los valores de caracterización física. En Figura 1 se presenta la distribución granulométrica.

Tabla 1. Caracterización de agregado natural

Agregado	Peso específico	Módulo de finura	Absorción
Mezcla de arenas	2,58 gr/cm ³	2,73	0,95%

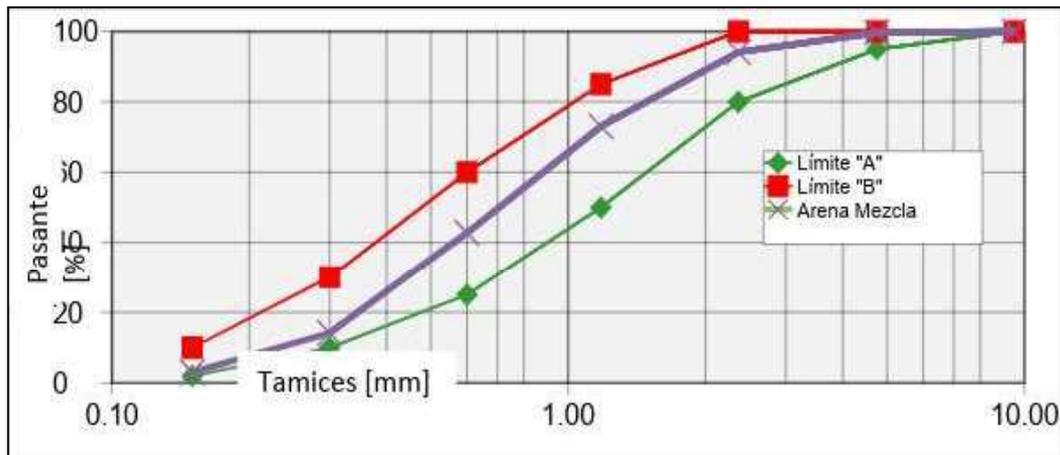


Figura 1. Granulometría de arena mezcla

3.1.3. Agregado de sustitución: caucho molido

Se utilizó caucho molido tipo bolita, libre de impurezas, telas y alambre. Dicho caucho molido proviene de una empresa que se dedica a la trituración del mismo, y cuya aplicabilidad convencional es canchas de fútbol con césped sintético. El procedimiento que se efectúa en la planta es: una trituración primaria para disminuir el volumen, una segunda trituración para eliminar la forma original del reciclado, un acopio intermedio del material, para finalmente darle la última molienda, separándolo y haciendo la respectiva elección granulométrica.

Para esta investigación se utilizó una muestra cuya granulometría se encuentra entre lo retenido del tamiz N° 8 y el N° 30 de manera de descartar la parte más fina y pulverulenta. Se presenta la curva granulométrica en la Figura 2.

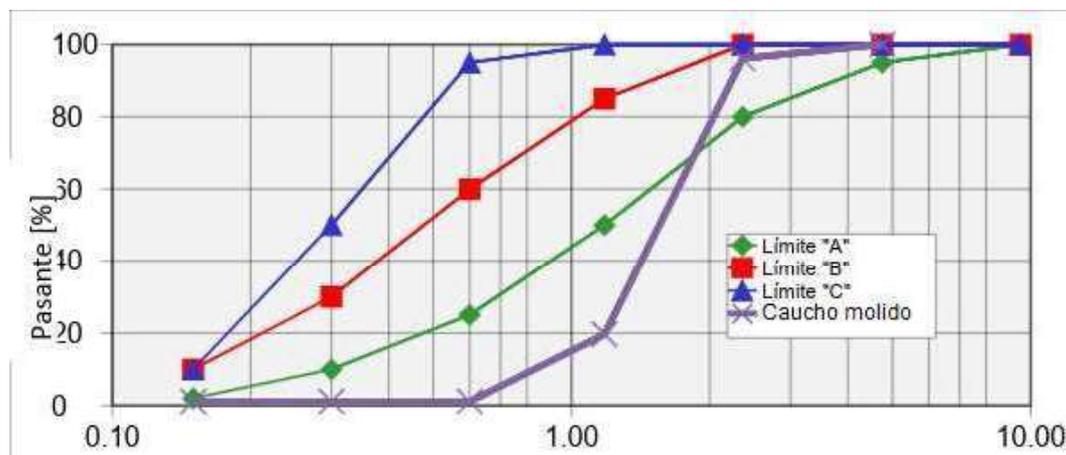


Figura 2. Granulometría del caucho molido

3.2. Dosificaciones

La dosificación planteada fue 1:1:6 compuesto por cemento:cal:arena, y según corresponda, el porcentaje de caucho para reemplazar arena. La consistencia fue el parámetro para dosificar según lo indica la Norma IRAM 1676. Se determinó por el método del escurrimiento en la mesa *Flow Table*. Al tener fijos las cantidades de agregados y aglomerantes la variable fue el agua necesaria para obtener escurrimiento de 210 cm que equivale a una consistencia de 110 %. En Tabla 2 se presentan las dosificaciones definitivas.

Tabla 2. Dosificaciones, consistencia. Relación agua/cemento

Muestras	Cemento (gr)	Cal (gr)	Arena (gr)	Caucho (gr)	Agua (gr)
MPCC	250	250	1500	-	350
MCC5	250	250	1425	75	367
MCC10	250	250	1350	150	385
MCC15	250	250	1275	225	410

3.3. Ensayos en estado fresco

Los pastones de mortero se realizaron siguiente la Norma IRAM 1622, teniendo en cuenta tiempo de mezclado y procedimiento general de colocación de los materiales. Primeramente se realizaron los ensayos en estado fresco y luego se moldearon probetas en moldes prismáticos llenados en dos capas y se compactaron en compactadora mecánica.

Ensayo de consistencia

La consistencia de un mortero define la manejabilidad o trabajabilidad del mismo. Es una medida de la plasticidad de la mezcla, la que se mejora con la adición de cal. La consistencia en laboratorio se determina por la mesa de sacudidas, *Flow Table*.

Ensayo de tiempo de utilización

El tiempo de utilización establecido por la Norma IRAM 1732 [9], indica el tiempo transcurrido desde el mezclado del mortero hasta que éste ya no puede ser utilizado, lo que ocurre cuando el escurrimiento definido en la Norma IRAM 1570 [10] es un 20% menor que el valor especificado para el mortero de ensayo.

3.4. Ensayos en estado endurecido

En estado endurecido se determinaron densidad, resistencia a compresión y a flexión, y adherencia.

Las resistencias a compresión y flexión del mortero se obtienen conforme a los resultados del ensayo de probetas prismáticas de 4 x 4 x 16 cm a 7 y 28 días, conservadas en laboratorio según condiciones normalizadas de temperatura y humedad.

Se utilizó una prensa hidráulica, para mayor precisión de resultados se utilizó un dispositivo de ensayo para compresión de morteros y celdas de carga de 20 y 200 Kn para mayor precisión de lectura en cargas bajas.

3.4.1. Resistencia a flexión

Los valores de resistencia a flexión se determinaron a 7 y 28 días en probetas prismáticas de según lo indica la Norma IRAM 1622 [11]. Con esas mitades que resultan del ensayo a flexión se procede al ensayo de compresión. Los valores finales de resistencia fueron calculados por media aritmética.

3.4.2. Resistencia a compresión

Los valores de resistencia a compresión se determinaron a 7 y 28 días. Los valores finales de resistencia fueron calculados por media aritmética.

3.4.3. Adherencia de los revoques

La adherencia se define como la resistencia a la tracción máxima de la unión entre un mortero y un soporte definido y se determina por medio de un ensayo de arrancamiento

directo perpendicular a la superficie del revoque. La fuerza de tracción se aplica por medio de una placa de arrancamiento de un área predeterminada del revoque, que se obtiene cortándola con una sonda rotativa.

Se utilizó para este ensayo el dispositivo *Pull Off tester*. La adherencia a tracción definida en la Norma IRAM 1764, se calcula como el cociente entre la carga máxima y el área de ensayo.

Con cada tipo de mortero se revocó sobre un ladrillo bloque de hormigón con una capa de 2 cm de espesor de mortero. Se cortaron las muestras con la sonda, previendo una distancia entre cada una de ellas de un diámetro de sonda. Las placas de arrancamiento fueron pegadas con una mezcla epoxi sobre el revoque. Se ejecutaron los ensayos a 7 y a 28 días.

En Figura 3 se muestra equipo de ensayo y muestra del arrancamiento en un mortero.



Figura 3. Ensayo de adherencia, muestra de ensayo y equipo de Pull Off

4. RESULTADOS

4.1. Resultados de ensayos en estado fresco consistencia y tiempo de utilización

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos de tiempo de utilización.

Tabla 3. Resultados de ensayos en estado fresco

Muestras	Tiempo de utilización (min)
MPCC	105
MCC5	90
MCC10	85
MCC15	70

4.2. Resultado de ensayos en estado endurecido

Los resultados en estado endurecido se presentan en Tabla 4. En la misma puede observarse el resumen de los resultados de ensayos de laboratorio de resistencias a compresión, flexión y adherencias a 7 y 28 días. También se expresan los valores de densidades.

Tabla 4. Resultados de ensayos en estado endurecido

Muestra	Resistencia compresión 7 días (Mpa)	Resistencia compresión 28 días (Mpa)	Resistencia a flexión 7 días (Mpa)	Resistencia a flexión 28 días (Mpa)	Adherencia 7 días (KN)	Adherencia a 28 días (KN)	Densidad (gr/cm ³)

MPCC	4,18	5,57	1,46	2,29	0,50	0,63	2,12
MCC5	3,30	5,28	1,08	1,84	0,28	0,32	2,04
MCC10	1,72	2,75	0,81	1,23	0,14	0,29	1,96
MCC15	1,51	2,50	0,74	1,2	0,13	0,15	1,85

5. DISCUSIONES

Las propiedades relativas al estado fresco se relacionan con la puesta en obra e influirán principalmente en el rendimiento y la calidad de la ejecución.

A medida que aumenta el porcentaje de caucho en la mezcla se incrementa la cantidad de agua necesaria para alcanzar una consistencia del 110%.

Los tiempos de utilización disminuyen a medida que se incorpora mayor cantidad de caucho triturado.

Se exponen en Tabla 5 los valores mínimos de resistencia a compresión a 28 días dados por Norma IRAM 1676. Allí se expresa su nomenclatura, calidad y los diferentes usos o destinos sugeridos.

Tabla 5. Valores normativos de resistencias a compresión

Tipo	Calidad	Destino sugerido	Resistencia mínima a compresión (MPa)
E	Elevada	Muros y zapatas de fundación	15
I	Intermedia	Muros portantes sometidos a altos esfuerzos	10
N	Normal	Muros portantes con cargas moderadas	5
No portante	No portante	Tabiques interiores no portantes, divisorios o decorativos	2,5

Los MPCC y MCC5 se clasifican como morteros tipo N de calidad normal siendo su destino muros portantes con cargas moderadas, lo que permite que sean utilizados en las envolventes de viviendas de una sola planta y los MCC10 y MCC15 se clasifican como morteros tipo No portante para tabiques interiores no portantes.

Los valores de adherencia a tracción disminuyen a medida que se incorpora más porcentajes de caucho. Debido a que los valores límites de resistencia a tracción por el ensayo de adherencia no se encuentran normalizados, se compararon los valores obtenidos con estudios anteriores, los que constituyen una referencia. Los resultados obtenidos indican que la resistencia a tracción obtenida por el ensayo de Pull Off se encuentran dentro de los parámetros normales, de acuerdo a los trabajos “La adherencia en los Morteros de albañilería” [12] y “Estudio comparativo de morteros empleados como revoques en nuestro medio” [13].

Las densidades de los morteros disminuyen con respecto al porcentaje de caucho incorporado.

6. CONCLUSIONES

El uso de caucho en morteros disminuye los problemas causados al medio ambiente, revalorizando el desecho y disminuyendo el problema de la disposición final del mismo.

Los resultados de los estudios realizados en laboratorio indican que las propiedades físicas y mecánicas de los morteros con caucho en los porcentajes estudiados, se asemejan a los morteros convencionales sin adiciones. Los valores obtenidos se

encuentran dentro de los rangos establecidos en la normativa vigente para morteros en la Argentina, en dos aplicaciones diferentes, por lo tanto, podemos concluir que es viable su utilización en los mismos.

Los MCC5 conservan prácticamente los mismos valores de resistencia a compresión que los MPCCC, pero su adherencia a 28 días disminuye casi un 50 %. La densidad disminuye por lo tanto el peso estructural.

Los MCC10 y MCC15 disminuyen casi a la mitad las resistencias a compresión, flexión y adherencias con respecto al MPCC. Sin embargo, cumplen con lo requerido para muros no portantes.

Los valores de adherencia en la serie de dosificaciones con caucho incorporado son coherentes con los resultados obtenidos de tiempos de utilización y los valores de resistencia a compresión, disminuyendo sus valores a medida que aumentan los porcentajes de caucho incorporado. Así mismo, son compatibles con los valores de trabajos anteriores que se utilizan como referencia.

Los tiempos de utilización todas las mezclas con caucho triturado son apropiadas para su aplicabilidad en obra.

Los valores obtenidos en ensayos de laboratorio en estado fresco y endurecido indican que es factible la utilización de caucho, aprovechando sus propiedades elásticas, baja densidad, compatibilidad con el cemento y estabilidad química, no afectando considerablemente la calidad de los morteros obtenidos.

El caucho puede utilizarse como agregado inherente en reemplazo de arena, obteniendo una ventaja con respecto al mortero patrón por disminución de peso estructural. Las propiedades físicas y mecánicas encuadren dentro las normativas de morteros.

Debido a que los resultados son satisfactorios, esta investigación continua con la aplicación del ensayo de retentividad, que permite determinar la capacidad del mortero para retener el agua de amasado.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrada, R.; Baronetto, C; Positieri, M; Oshiro, A. *Estudio de morteros elaborados con agregado de reciclado de residuos de la construcción*. 51º Congresso Brasileiro do Concreto, Brasil – ISBN 978-987-21660-3-8. Edición 17. Pp 53-60 (2009).
- Andrada, R.; Baronetto, C; Positieri, M; Oshiro, A. *Uso de cenizas de cáscaras de girasol y maní como adición en morteros*. Anais do 53º Congresso brasileiro do Concreto CBC2011. Florianopolis, Brasil. ISSN 2175-8182, (2011).
- Kreinker, J.; Andrada, R.; Gatani, M.; Positieri, M.; Quintana Crespo, E; Sable, L. *Evaluación del comportamiento puzolánico de cenizas de cascara de maní para su uso como aglomerante sustituto en morteros cementicios*. IX Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras IX International Congress on Pathology and Recovery Structures João Pessoa-PB (Brasil), 3 - 5 de Junio de (2013).
- Andrada, R.; Baronetto, C; Positieri, M; Oshiro, A. *Evaluación térmica de morteros elaborados con zeolita como porcentaje de sustitución de aglomerante*. Asociación Argentina de energías renovables ASADES. Rosario, Argentina. ISSN 0329-5184, (2012).
- Andrada, R; Mugetti, V. *Morteros sustentables con reemplazo de agregado fino por caucho*.
- Congreso AATH, Olavarria, Buenos Aires Argentina 2018
- IRAM 1764. *Morteros. Método de ensayo de adherencia de los revoques y carpetas*. (2003).
- IRAM 1676. *Morteros para Mampostería Clasificación y Requisitos*. (2012).

- IRAM 1520. *Agregados finos. Métodos de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua. (2002).*
- IRAM 1732. *Morteros para mampostería. Mortero fresco. Determinación del tiempo de utilización. (1997)*
- IRAM 1570. *Morteros para Mampostería Determinación de la consistencia. Método del escurrimiento. (1994)*
- IRAM 1622. *Cemento Pórtland Métodos de determinación de las resistencias a compresión y flexión. (2006).*
- *Cabrera, J. La adherencia en los morteros de albañilería. Cuba, (1995).*
- *Granero, P. Rodríguez de Sénsale, G. Estudio comparativo de morteros empleados como revoques en nuestro medio. VI Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras. Cinpar 2010. Córdoba, Argentina, (2010).*