

Non-Destructive Experimental Evaluation of an Ecological Mortar Using a Schmidt Hammer

Julio Barzola, Mg.^{1,2}, Fausto Cabrera, Mg¹

¹Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, Ecuador, jbarzola@ulvr.edu.ec, fcabreram@ulvr.edu.ec

²Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador, jjbarzol@espol.edu.ec

Abstract- Mechanical resistance is one of the physical parameters to be evaluated in construction, with major emphasis on whether if the material used is non-conventional and it is required to corroborate its possible diffusion in civil engineering applications. The present study carries-out an experimental evaluation in situ using a Schmidt hammer or Rebound Hammer with a mortar treated with rice husks (MCA1) used in masonry plaster in housing prototypes constructed in Atahualpa in the province of Santa Elena. As the experiment's control conventional or traditional masonry (MT) with conventional mortar was considered. The results show that over time there was good adhesion and the MCA1 mortar with concrete masonry showed resistance. Additionally, previous studies demonstrate a similar thermal activity between both types of mortar. Despite MT's greater resistance, the MCA1 showed good mechanical behavior on site, which could serve as an alternative for use in housing built with eco-friendly material.

Keywords-- Mechanical Resistance, Mortar, Rebound Hammer, Energy Efficiency.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.039>
ISBN: 978-0-9822896-9-3
ISSN: 2414-6390

Evaluación experimental no destructiva de un mortero ecológico mediante el martillo de Schmidt

Julio Barzola, Mg.^{1,2}, Fausto Cabrera, Mg¹

¹Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, Ecuador, jbarzolam@ulvr.edu.ec, fcabreram@ulvr.edu.ec

²Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador, jjbarzol@espol.edu.ec

Resumen– La resistencia mecánica es uno de los parámetros físicos a evaluar en las construcciones, con mayor énfasis si el material usado es no convencional y se requiere corroborar su posible difusión en aplicaciones de ingeniería civil. El presente estudio realiza una evaluación experimental *in situ* mediante el martillo de Schmidt o esclerómetro de un mortero tratado con cascara de arroz (MCA1) usado en revoco y enlucido de mampostería en prototipos de viviendas construidas en Atahualpa-Provincia de Santa Elena. Para el control experimental se ha considerado como prototipo testigo mampostería con mortero convencional o tradicional (MT). Los resultados muestran en el tiempo una buena adhesión y resistencia del mortero MCA1 con mampostería de hormigón. Además, estudios previos también evidencian un similar comportamiento térmico entre ambos tipos de morteros. A pesar de que el MT tiene una mayor resistencia, el MCA1 presenta un buen comportamiento mecánico probado en campo, el cual puede ser una alternativa de uso para viviendas construidas con materiales eco amigables con la naturaleza.

Palabras clave–Resistencia mecánica, mortero, esclerómetro, eficiencia energética.

I. INTRODUCCIÓN

La cascara de arroz es uno de los desechos orgánicos que más se genera en las piladoras de arroz a nivel mundial y generalmente es incinerado para su deposición final [1][2]. En nuestro ámbito local su mayor producción se encuentra en la costa ecuatoriana y comúnmente este residuo en grandes cantidades es quemado y en ocasiones se lo arroja a los ríos y esteros, produciendo contaminación y obstrucción de los cauces [3].

Sin embargo, a este desecho se le puede dar una utilización y aprovechamiento con el fin de reducir su impacto negativo en la naturaleza. De ahí que, como parte del proyecto de investigación ULVRG-12-16 se ha desarrollado un mortero no convencional, cuyo ingrediente diferenciador es la cáscara de arroz [4]. Este mortero denominado MCA1 ha sido aplicado en paredes de prototipos construidos en la parroquia Atahualpa, provincia de Santa Elena. A través de una estación meteorológica y sensores térmicos instalados se ha recolectado *in situ* datos de mediciones que conllevaron a un análisis térmico comparativo entre el mortero convencional versus el mortero tratado MCA1. Los resultados evidenciaron que el mortero MCA1 aplicado en mampostería de hormigón y ladrillo tiene un comportamiento térmico similar al MT [5][6].

No obstante, es necesario corroborar las características anteriores del mortero MCA1 ya en aplicaciones reales. En este trabajo nos enfocaremos en la evolución de la resistencia

a la compresión del MCA1 aplicado en los prototipos experimentales con ayuda del martillo de Schmidt o comúnmente conocido como esclerómetro.

Esta técnica de medición no invasiva está basada en el principio energético relacionado entre el rebote de un martillo de acero y la dureza que ejerce una superficie. Este método generalmente es considerado como de referencia ya que no es del todo fiable debido a que en un mismo punto una y varias mediciones pueden variar en el valor de rebotes del instrumento. Sin embargo, algunos autores han logrado normalizar estadísticamente el número de repeticiones que debería aplicarse en un punto con la finalidad de calcular la mediana representativa y fiable de las mediciones [7].

II. METODOLOGÍA

Para esta evaluación experimental *in situ*, se utilizaron los tres módulos construidos en Atahualpa, conforme se muestra en la fig. 1. En 1a) el prototipo 1 ha sido construido con mampostería de bloque de hormigón y las paredes han sido enlucidas con MT y su función será de testigo o control experimental.

Por otra parte, los restantes prototipos 2 y 3 fueron construidos con mampostería de bloques de hormigón y ladrillo respectivamente, y las paredes de ambos fueron enlucidas con el mortero tratado MCA1; éstos serán los sujetos de estudio experimental.



Fig. 1: De izquierda a derecha: a) Prototipo 1, b) Prototipo 2 y c) Prototipo 3.

A. Preparación del mortero

El mortero MCA1 está constituido por cemento tipo Portland Hidráulico para construcción TIPO GU, arena, cascara de arroz triturada y agua potable en una proporción 1: 3: 0.1: 0.86 obteniéndose una relación de agua cemento de 0.86, tratándose de un mortero por los áridos colocados como

son la arena y la cáscara de arroz triturada. En el laboratorio estas mezclas se los colocaba en probetas prismáticas (cubos) de 5 cm de arista, con moldes de tres compartimientos, para lo cual se la compactada en dos capas, dejándola dentro de los moldes y sumergido en agua por 24 horas, luego desmoldándolo y sometióndolas a un proceso de curado, para luego realizar las pruebas comprensión a los 7, 14 y 28 días, para lo cual se utilizó la maquina Versatester Soiltest 1020 30 M que es del tipo hidráulica. Antes de aplicar la carga a cada muestra, los cubos se los sacaba del recipiente de almacenamiento con una tolerancia de tiempo de 3 horas previas a la realización de prueba a los 7 días, con 6 horas para la de 14 días y 12 horas para la de 28 días, según las normas ASTM C-109.

B. Características del instrumento

El esclerómetro utilizado en las mediciones es de la marca PROCEQ, tipo N, con una energía de impacto de 2.207 Nm, rango de resistencia compresiva de 10 a 100 MPa y con una temperatura de operación de 0 a 50 °C. Además, se siguieron las recomendaciones para evaluar la uniformidad de la resistencia del mortero bajo estudio [8]. La fig. 2 muestra el modelo de esclerómetro durante las mediciones *in situ*.



Fig. 2 Esclerómetro PROSEQ tipo N usado en las mediciones

C. Proceso de mediciones con el esclerómetro

Por cada punto a evaluar, se realizaron diez mediciones con el esclerómetro. Este instrumento mide la resistencia a la compresión en Q unidades, que se pueden convertir en unidades MPa por medio de una curva facilitada por el fabricante. Luego, a este conjunto de valores Q se le determinó la mediana. Este proceso se llevó a cabo en cada pared externa e interna de cada módulo. Las fechas tomadas en consideración para análisis de la evolución de la resistencia fueron 14, 28 de septiembre 2014 y 23 de mayo 2015.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se hizo el cálculo estadístico de las mediciones realizadas tanto al interior como exterior de cada pared de los prototipos. Las figuras 3, 4 y 5 muestran en las distintas fechas los valores medianas Q de los módulos 1, 2 y 3 respectivamente.

A. Paredes externas de los prototipos

Los siguientes gráficos sintetizan los resultados de las medianas de los datos obtenidos de las paredes externas. Se etiquetaron estas paredes en sentido anti horario, partiendo con la pared frontal, 1; lateral derecho, 2; posterior, 3 y lateral izquierda, 4. Los valores en el eje de la ordena corresponde a los valores Q y el eje de las abscisas corresponde al lado de la pared de estudio.

Las figuras 3-5 muestran en las distintas fechas los valores medianas Q de los módulos 1, 2 y 3 respectivamente.

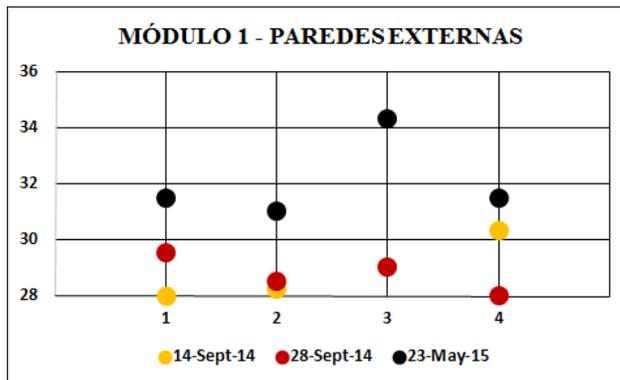


Fig. 3: Comportamiento de la Resistencia en paredes externas del módulo 1

La fig. 3 denota una buena regularidad de la resistencia a la compresión de cada pared que fue enlucida con el MT en el módulo 1. Además, en comparación con los otros módulos existe una alta dispersión de las medianas de los valores Q en las distintas fechas de medición. El Q mínimo fue de 28 y el máximo de 34.3, el rango de valores es 6.3.

La fig. 4 muestra en la primera fecha una baja resistencia a la compresión de cada pared que fue enlucida con el MCA1 en el módulo 2. La segunda fecha presenta mejores valores Q comparados con las otras fechas, sin embargo, son bajos contrastados con el módulo 1. Además, este prototipo presenta una mayor dispersión de las medianas de los valores Q en comparación al módulo 1. El Q mínimo es 10.5 y el máximo de 23.2 Q, el rango de valores es 12.7.

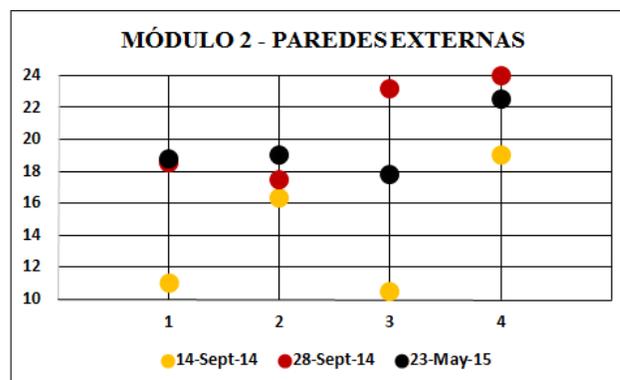


Fig. 4: Comportamiento de la Resistencia en paredes externas del módulo 2

Finalmente, la fig. 5 muestra en la primera fecha una baja resistencia a la compresión de cada pared con MCA1 en el módulo 3. No obstante, se evidencia una tendencia creciente en el tiempo de los valores Q. La dispersión es la mayor en comparación de los otros dos módulos. El Q mínimo es 10.3 y el máximo 29.3 Q, el rango de los valores es 19.

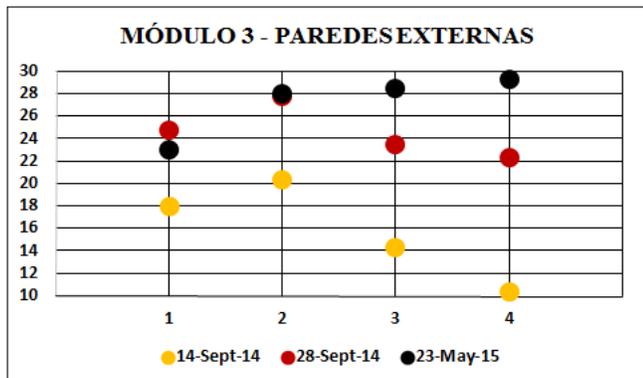


Fig. 5: Comportamiento de la Resistencia en paredes externas del módulo 3

B. Paredes internas de los prototipos

De igual manera como en la sesión anterior, mostraremos gráficos que sintetizan los resultados de los cálculos de las medianas con los datos obtenidos de las mediciones en las paredes internas. Se etiquetaron estas paredes en sentido anti horario, partiendo con la pared frontal, 1; lateral derecho, 2; posterior, 3 y lateral izquierda, 4. Los valores en el eje de la ordena corresponde a los valores Q y el eje de las abscisas corresponde al lado de la pared de estudio.

Las figuras 6-8 muestran en las distintas fechas los valores obtenidos de las medianas Q al interior de los módulos 1, 2 y 3 respectivamente.

La fig. 6 denota una tendencia decreciente pero que se estabiliza en cuanto a la resistencia a la compresión de cada pared que fue enlucida con el MT en el módulo 1. Además, estas mediciones tienen la mayor dispersión de las medianas de los valores Q en comparación de los otros módulos 2 y 3. El Q mínimo es 27.2 y el máximo 38.2, el rango de los valores es 11.

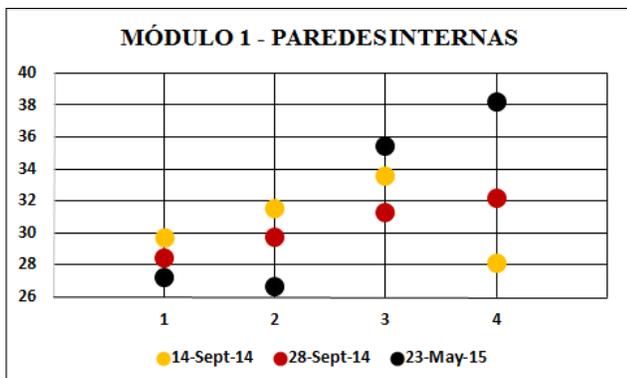


Fig. 6: Comportamiento de la Resistencia en paredes internas del módulo 1

La fig. 7 muestra una tendencia regular y ligeramente decreciente de la resistencia a la compresión de cada pared que fue enlucida con el MCA1 en el módulo 2. En general los valores Q son bajos comparados con el módulo 1. El Q mínimo es de 18.3 y el máximo de 26.4, el rango de los valores es 8.1.

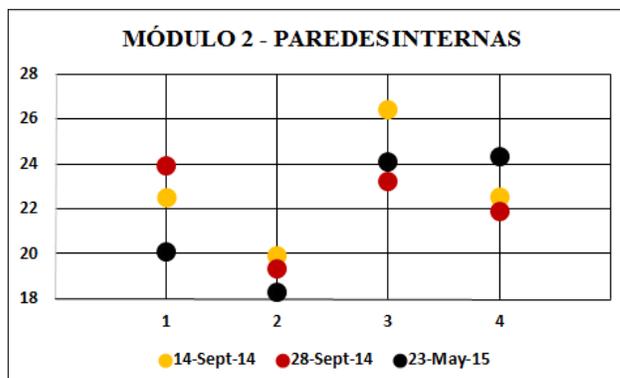


Fig. 7: Comportamiento de la Resistencia en paredes internas del módulo 2

Finalmente, la fig. 8 muestra una tendencia regular y ligeramente creciente de la resistencia a la compresión de cada pared que fue enlucida con el MCA1 en el módulo 3. La dispersión es ligeramente menor comprada con el módulo 2. En general, en cuanto a las paredes internas este prototipo presenta la menor dispersión de las medianas de los valores Q en comparación al módulo 1 y 2. El Q mínimo es de 22.5 y el máximo de 31.3 Q. El rango de valores es 8.8.

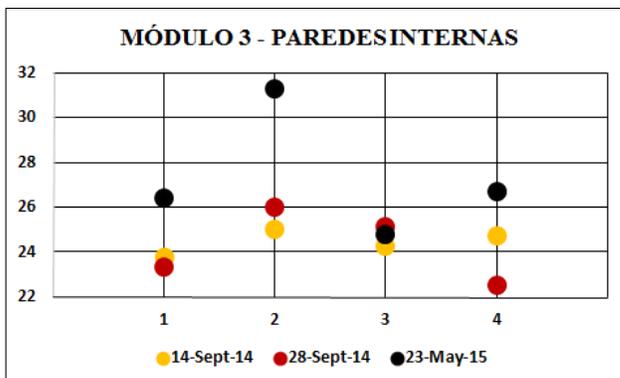


Fig. 8: Comportamiento de la Resistencia en paredes internas del módulo 3

La tabla 1 resume parámetros estadísticos de tendencia central y de dispersión de las medianas de los valores Q medidos en las 3 fechas de estudio tanto al interior y exterior de cada módulo.

En esta tabla se evidencia que los módulos 2 y 3 a los cuales se les aplicó el mortero MCA1, la menor dispersión de datos en las paredes internas lo tiene el módulo 3 con una desviación estándar de 2.25. Mientras que el módulo 2 con una desviación estándar de 4.20 muestra menor dispersión de datos en las paredes externas.

TABLA I
MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL Y DISPERSIÓN DE
LAS MEDIANAS DE LOS Q VALORES MEDIDOS

Modulo	1		2		3	
	Int	Ext	Int	Ext	Int	Ext
Q _{max}	38.2	34.3	26.4	23.2	31.3	29.3
Q _{min}	27.2	28	18.3	10.5	22.5	10.3
Rango	11	6.3	8.1	12.7	8.8	19
Media	30.99	29.9	22.2	18.18	25.32	22.51
Mediana	30.5	29.25	22.5	4.20	24.9	23.25
Moda	29.7	28	22.5	19	N.E.	N.E.
Desviacion estandar	3.46	1.90	2.40	4.20	2.25	5.94

Por otra parte, en la tabla II se consideran los valores máximos de los coeficientes de rebote Q expresados en su equivalencia de N/mm² y kg/cm². Entre los dos módulos experimentales a los que se le aplicó el mortero MCA1, se evidencia que mejor resistencia se ha obtenido con el módulo 3 construido con mampostería de ladrillos, es decir, el MCA1 para aplicaciones de revoco y enlucido de paredes no presentaría ningún inconveniente, sin alterar la actual resistencia, estética y funcionalidad que tienen los morteros tradicionales.

TABLA II
VALORES MÁXIMOS DE LAS MEDIANAS EXPRESADOS EN N/MM² Y KG/CM²

Modulo	Mortero	Paredes	Q(Maximo)	N/mm ²	Kg/cm ²
1	MT	Externas	34.3	24	244.73
1	MT	Internas	38.2	29.3	298.78
2	MCA1	Externas	23.2	13.7	139.70
2	MCA1	Internas	26.4	16.9	172.33
3	MCA1	Externas	29.3	19	193.75
3	MCA1	Internas	31.3	21.4	218.22

Las figuras 9 y 10 muestran el diagrama de cajas con sus respectivos cuartiles de la distribución de las medianas de los valores Q de cada pared interna y externa. Considerando los módulos experimentales 2 y 3 que están bajo estudio experimental podemos evidenciar que la mejor distribución de datos en el rango intercuartílico lo tiene el módulo 3 tanto en las paredes internas como en las paredes externas.

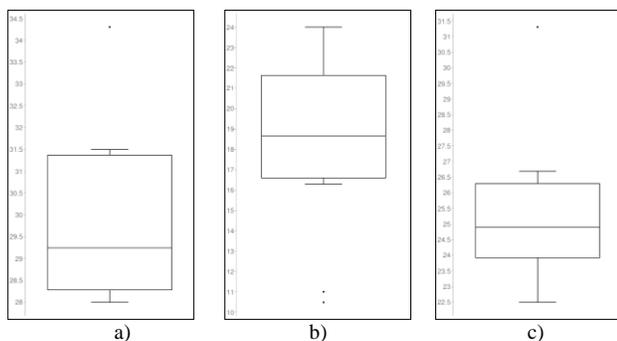


Fig. 9: Diagrama de cajas de la distribución de las medianas de valores Q en las paredes externas: a) Módulo 1, b) Módulo 2, c) Módulo 3

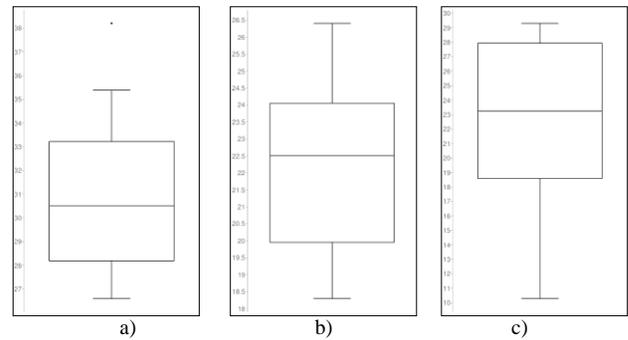


Fig. 10: Diagrama de cajas de la distribución de las medianas de valores Q en las paredes internas: a) Módulo 1, b) Módulo 2, c) Módulo 3

Además, en un trabajo previo en [2] muestra las curvas térmicas al interior de los tres módulos en un día seleccionado al azar. Se evidencia un similar comportamiento térmico entre el modulo testigo (1) y los módulos sujetos de estudio experimental (2 y 3). Siendo el módulo 3 con el mejor resultado térmico en los que se aplicó el mortero MCA1.

IV. CONCLUSIONES

Se han realizados mediciones con el esclerómetro en tres distintas fechas para evaluar la evolución de la resistencia a la compresión del mortero MCA1 aplicado a las paredes de los módulos construidos en la parroquia Atahualpa, Provincia de Santa Elena.

Los resultados evidencian una tendencia creciente de la resistencia a la compresión del mortero tradicional en contraste con mortero MCA1 aplicado a los módulos de control experimental.

No obstante, el mortero MCA1 aplicado al módulo 3 presentó mejor distribución estadística de las medianas de valores Q en comparación del módulo 2.

Es decir, el módulo construido con mampostería de bloques del tipo ladrillo tiene una mejor evolución de la resistencia a la compresión en comparación del módulo 2 construido con bloques de hormigón.

Cabe señalar que se podrían corroborar estos resultados con otros métodos no invasivos tales como la resistividad eléctrica y velocidad ultrasónica. Sin embargo, se puede tomar de referencia el presente trabajo que denota una posible alternativa de menor impacto ambiental el uso del mortero MCA1 con mampostería de ladrillo.

REFERENCIAS

- [1] K. Ganesan, K. Rajagopal, and K. Thangavel, "Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no. 8, pp. 1675–1683, Aug. 2008.
- [2] J. Barzola, F. Cabrera, and M. Espinoza, "Test Results of a Mortar Made of Crushed Rice Husk Used for Housing Walls," in *13th LACCEI Annual International Conference*, 2015, pp. 29–30.

- [3] F. Cabrera and J. Barzola, "Mortero de Cáscara de arroz triturada para aislamiento térmico en viviendas de la costa ecuatoriana," IV Congr. Int. Conoc. y la Innovación, pp. 2218–2235, 2014.
- [4] F. Cabrera, "Incidencia de la energía solar en los módulos de prueba ubicados en Atahualpa y El Laurel," Yachana, vol. 3, no. 1, pp. 79–83, 2014.
- [5] F. Cabrera and J. Barzola, "Cáscara de arroz triturada aplicada en morteros," in I Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología UTMACH 2015, 2015, p. 56.
- [6] J. Barzola, F. Cabrera, and M. Espinoza, "On Parameters Testing of an Innovative Mortar Made of Rice Husk to be Used for Housing Walls," in ISES Solar World Congress 2015, 2015, pp. 1–7.
- [7] V. Badilla, "Correlación De Diferentes Métodos De Detección No Destructivos De Anomalías En El Hormigón," Universitat Politècnica de Catalunya, 2014.
- [8] Proceq, "Operating Instructions SilverSchmidt & Hammerlink." Switzerland, pp. 1–32, 2014.