

FORJADOS DE MADERA DE ENTREVIGADO CUAJADO CON RESIDUOS CERÁMICOS DE DEMOLICIÓN

¹Rubio de Hita, P.; ¹Pérez Gálvez, F.; ²Morales Conde, M.J.; ¹Rodríguez Liñán, C.

**¹Departamento de Construcciones Arquitectónicas I. Universidad de Sevilla
Avda Reina Mercedes nº2. 41012 Sevilla**

**²Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción
Avda Reina Mercedes nº2. 41012 Sevilla**

e-mail: palomarubio@us.es, fipergal@us.es, mmorales@us.es, rlinan@us.es

RESUMEN

El trabajo realizado es una continuidad en la línea de investigación del grupo TEP-205, "Análisis y evaluación de sistemas constructivos y estructurales en la Arquitectura", centrada en las tipologías edificatorias de la arquitectura doméstica de ciudades como Sevilla o Córdoba de los siglos XVII al XX.

El objeto del trabajo, fundamentalmente experimental, consiste en desarrollar una nueva pieza de entrevigado, a partir del reaprovechamiento de los residuos cerámicos generados en las tareas de demolición. Esta pieza está destinada a emplearse en los forjados de entrevigado cuajado característicos de esta tipología edificatoria.

Para la definición de este elemento se han elaborado diferentes modelos de ensayo reproduciendo la geometría y características constructivas de estos forjados. En estos modelos se estudian diferentes dosificaciones de morteros y geometrías, en aras de alcanzar la capacidad resistente necesaria para su utilización en obra. Como resultado, se ha desarrollado una pieza en la que se alcanzan valores resistentes de hasta 137 Kgf, superiores a los valores exigidos a las bovedillas prefabricadas de hormigón según normativa.

Palabras clave: Rehabilitación, forjados de entrevigado cuajado, aprovechamiento residuos cerámicos.

1.- Introducción

Actualmente el sector de la construcción está atravesando una crisis medioambiental a distintos niveles. Los edificios construidos son una causa directa de contaminación en la medida que producen residuos y consumen grandes cantidades de energía. Los residuos de construcción y demolición (RCD) se generan durante el ciclo de vida de un edificio y, principalmente, durante las etapas de rehabilitación y demolición [1]. Así, en términos de construcción, cualquier propuesta para la rehabilitación de un edificio supone una actividad intensa donde se generan una cantidad importante de residuos.

En este sentido, el Plan Nacional de Residuos (PNIR 2008-2015) intenta fomentar la demanda de productos del reciclado de RCD, en especial de áridos reciclados. La viabilidad del uso de residuos de construcción y demolición ha sido estudiada en numerosos trabajos de investigación. Estos trabajos han desarrollado estudios sobre bloques de hormigón [2, 3, 4], piezas de pavimentos [5] y como material de subbase en la construcción de carreteras [6]. También, se están desarrollando estudios sobre el empleo de residuos de demolición (RCD) en la fabricación de piezas de entrevigado de hormigón no estructural sustituyendo los áridos naturales por reciclados en diferentes porcentajes [7].

El objetivo del presente trabajo es estudiar las posibilidades de reutilización de los residuos de demolición generados de los trabajos de rehabilitación de edificios residenciales del centro histórico de ciudades como Sevilla o Córdoba, al sur de España. Estos edificios son llamados comúnmente edificios de arquitectura doméstica y son originales de los siglos XVII-XX (fig. 1).



Fig. 1 “Fachadas de edificios tradicionales de Arquitectura Doméstica de los centros históricos de ciudades como Sevilla o Córdoba”. Fuente: los autores.

En este caso, la reutilización de los residuos de demolición está destinada a la fabricación de una nueva pieza para incorporar en forjados. Se trata de un elemento de intradós curvo que funciona como bovedilla rellenando el espacio de entrevigado (fig. 2). Esta nueva pieza es susceptible de ser implementada en esta tipología constructiva para rellenar el espacio entre vigas de madera. Ninguno de los trabajos citados anteriormente en este campo aborda el desarrollo y estudio de bovedillas adaptadas a las características propias de esta tipología constructiva.

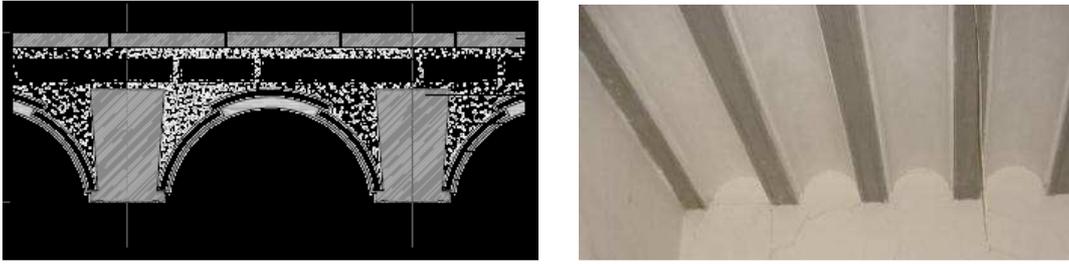


Fig. 2 “Forjados de entrevigado cuajado típicos de esta tipología constructiva”.
Fuente: los autores.

La recuperación de esta tipología de forjados está basada en los tradicionales forjados de "trencadis" ejecutados en España desde finales del siglo XIX y principios del XX en la zona catalana y levantina fundamentalmente. Estos trabajos consisten en el aprovechamiento de restos de piezas cerámicas, mayoritariamente baldosas, que, con un encofrado, conforman el elemento de entrevigado (Fig3).



Fig. 3 “Vestíbulo de la Estación del Norte de Valencia”

2.- Caracterización de los materiales empleados

2.1.- Residuos cerámicos

Para fabricar las bovedillas se han empleado residuos cerámicos de poco espesor. Estos residuos proceden fundamentalmente de la demolición de las solerías y de los rellenos empleados para los forjados y la formación de las pendientes en las cubiertas originales de esta tipología constructiva. Estos rellenos están constituidos por alcatifa, un residuo compuesto fundamentalmente por carbonilla, restos cerámicos y morteros. De este residuo se reutilizan los fragmentos cerámicos que pasan por el tamiz de 32 mm.

2.2.- Morteros

Este nuevo elemento se fabrica empleando un mortero de cemento blanco. La dosificación inicial del mortero empleado es 1:6 (serie A). En una segunda fase, a esta dosificación se le añade como aditivo EPS (serie B) en un porcentaje en peso en relación al peso del cemento de un 2% con el fin de aligerar el peso de la pieza. Para caracterizar estos morteros se realizan probetas prismáticas de dimensiones 40x40x160 mm³. Estas probetas se ensayan a flexión y compresión según UNE EN 1015-11:2000/A1:2007 [8]. Los resultados obtenidos para las distintas dosificaciones se muestran en la Tabla 1.

Como se aprecia en la Tabla 1 al incluir EPS en la dosificación del mortero disminuye notablemente los valores de resistencia tanto a flexión como a compresión. Por otro lado, en la dosificación inicial (1:6), el mortero queda arenizado por lo que se decide aumentar el contenido de cemento pasando a una dosificación

1:5 (serie C), obteniendo, en este caso, mejores resultados en cuanto a resistencia, tanto a flexión como a compresión, como se recoge en la Tabla 1.

Con todo ello, se recurre finalmente al empleo de un mortero de cemento blanco con una dosificación 1:5 descartando el empleo de EPS.

Serie	Dosificación del mortero	Densidad (Kg/m ³)	Resistencia a flexión (N/mm ²)	Resistencia a compresión (N/mm ²)
		Valor medio (CV, %)	Valor medio (CV, %)	Valor medio (CV, %)
Serie A	1:6	4621,23 (0,02)	1,32 (11,81)	3,44 (6,19)
Serie B	1:6 con EPS	3988,18 (0,26)	0,60 (7,69)	1,15 (13,48)
Serie C	1:5	4474,06 (0,19)	1,52 (1,01)	4,72 (23,46)

Tabla 1 “Resultados por dosificaciones de los morteros empleados”

En estas dosificaciones la relación agua/cemento del mortero es elevada (aproximadamente 1:1) para facilitar la trabajabilidad y la ligazón con las piezas de cerámicas reutilizadas. En investigaciones posteriores se podrán utilizar relaciones agua/cemento inferiores añadiendo aditivos fluidificantes.

Previamente a la elección de este mortero se emplearon en la realización de las piezas mortero de cal y, posteriormente, mortero bastardo, al objeto de incrementar la baja resistencia obtenida previamente en el mortero de cal. No obstante, la difícil trabajabilidad del mortero de cal, su largo tiempo de fraguado y las resistencias alcanzadas en el mortero bastardo, inferiores a los requisitos de resistencia requeridos, hacen que se descarte el empleo de estos morteros.

2.3.- Fibra de vidrio

Al objeto de incrementar la resistencia de las bovedillas se incorpora un velo de fibra de vidrio en tejido con una elevada resistencia a tracción. La fibra de vidrio en tejido utilizada tiene una densidad de 300 g/m² y está tratada con un tratamiento antialcalino.

3.- Diseño del modelo (definición geométrica y tipologías)

El diseño del modelo tiene como objetivo fundamental reproducir las condiciones reales de funcionamiento de las bovedillas en obra. Para ello se ha diseñado un molde de poliestireno extruido que posteriormente se ha recubierto con una lámina de PVC en su cara superior para facilitar el desencofrado posterior de la pieza de mortero. Se establece un ancho de molde de 31 cm, y una altura de 14-15 cm, respectivamente, de los cuales 12 cm corresponde con la altura de peralte y 2-3 cm a la altura de la pieza en su cara superior. Este diseño va dirigido a emplear en obra vigas de 9-10 cm de ancho y una altura de 14-15 cm, respectivamente. Estas dimensiones se han tomado como ejemplo de las escuadrías más habituales de este tipo de forjados. No obstante, la escuadría transversal de la viga no interviene en el diseño y los resultados del nuevo elemento, lo que si debe tenerse en cuenta es el ancho resultante de entrevigado. En este caso se ha estudiado el entrevigado habitual de aproximadamente 30 cm. El diseño del modelo se recoge en la Figura 4.

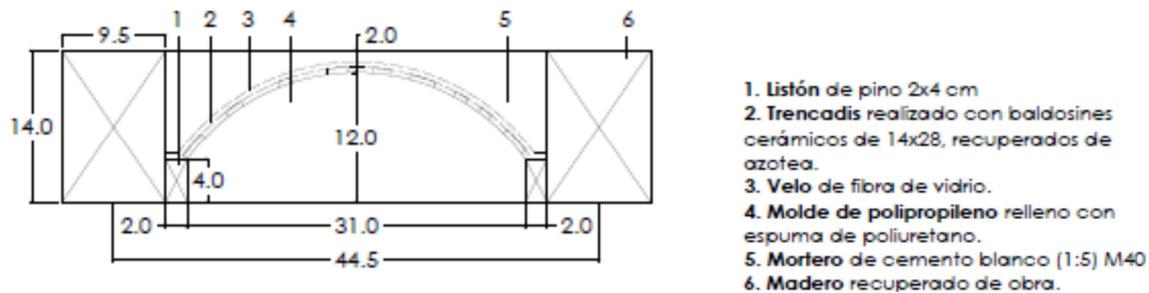


Fig. 4 “Diseño del modelo”. Fuente: los autores.

Para alcanzar una simulación aproximada de las condiciones de este elemento en la obra en los ensayos de rotura, se ha procedido al zunchado del conjunto formado por la nueva pieza de mortero y las piezas de madera que funcionan a modo de vigas de un forjado.

La configuración actual del modelo es el resultado de un proceso de ensayo previo. Se han estudiado diferentes modelos con peraltes inferiores (10 cm). El modelo final, cuya altura de peralte es 12 cm, es el que ha resultado más eficiente desde el punto de vista estructural actuando como un arco de descarga.

4.- Proceso de ejecución

El molde se realiza utilizando como material base el poliestireno extruido. Este molde se vectoriza inicialmente en un programa de diseño y se ejecuta en la fresadora del laboratorio de maquetas de la ETSA (FABLAB) (fig 5).



Fig. 5 “Proceso de fabricación del molde”. Fuente: los autores.

Una vez ejecutado el molde, se reviste de una lámina de PVC para evitar el contacto con el mortero y facilitar el desencofrado posterior de la pieza. A continuación, para reproducir sus condiciones en obra, se colocan 2 piezas de madera de dimensiones 9x14-15x31 cm a ambos lados del molde y se realiza un zunchado perimetral con cinta adhesiva para simular las condiciones del elemento en obra (fig 6). Estas piezas simulan las vigas de un forjado tipo y a la vez actúan de encofrado perdido.



Fig. 6 “Colocación de las piezas de madera y el molde para reproducir un forjado real”. Fuente: los autores.

Tras colocar las piezas de madera y el molde se disponen las piezas cerámicas a reutilizar. Seguidamente, se vierte una primera tongada de mortero de unos 2 cm y se coloca el velo de fibra de vidrio (fig. 7).



Fig. 7 “Proceso de elaboración de la nueva pieza. a. Colocación de los restos cerámicos reciclados. b. Colocación de la fibra de vidrio”. Fuente: los autores.

A continuación, se rellena el molde hasta alcanzar la altura de las vigas de madera colocadas (14-15 cm). Es muy importante enrasar la superficie superior de la bovedilla y conseguir una superficie perfectamente horizontal para conseguir un apoyo uniforme en el posterior ensayo de rotura (fig 8).



Fig. 8 “Vertido del mortero. a. Enrasado de la cara superior hasta una perfecta planeidad. b”. Fuente: los autores.

Finalizado el proceso de fabricación se deja 28 días para el total fraguado del mortero (fig 9), periodo tras el cual se realizan los ensayos de rotura.



Fig. 9 “Pieza terminada tras el proceso de fraguado y dispuesta para ensayar”.
Fuente: los autores.

5.- Ensayos

Actualmente, no existe norma de aplicación para la realización de ensayos de este elemento. Se trata de un elemento compuesto de mortero y material cerámico no existiendo una norma específica de aplicación. Así, para realizar los ensayos se sigue el procedimiento descrito en la norma UNE 67-042-88 [9] para piezas cerámicas de arcilla cocida de gran formato por su mayor similitud en cuanto a la forma del elemento.

Para la realización del ensayo se utilizará una prensa capaz de aplicar la carga con una velocidad de 5 Kgf/s dotada de un plato con rótula y cuyos dos apoyos serán uno fijo y otro articulado. La carga se aplicará en el centro del vano sobre un paralelepípedo de madera de 5 cm de ancho y 3 cm de alto, y de longitud igual o superior a la anchura de la pieza (fig 10).

Según la norma, se considera positivo el resultado del ensayo, cuando la probeta resista una carga de 125 kgf sin producirse la rotura.



Fig. 10 “Procedimiento de ensayo”. Fuente: los autores.

Se ensayaron varias tipologías de probetas con distintas espesores de la capa superior de la pieza y distintas dosificaciones de mortero (Tabla 2).

Número de la pieza	Espesor cara superior (cm)	Dosificación mortero
1	2	1:6 (serie A)
2	2	1:6 con EPS (serie B)
3	2,58	1:5 (serie C)
4	3,12	1:5 (serie C)
5	3,10	1:5 (serie C)

Tabla 2 “Tipología de piezas ensayadas”

6.- Resultados y conclusiones

Los resultados de los ensayos se muestran en la Tabla 3.

Número de la pieza	Carga de rotura (Kgf)
1	72
2	25,5
3	96
4	110
5	137

Tabla 3 “Tipología de piezas ensayadas”

A partir de los resultados que se muestran en las Tablas 2 y 3 podemos observar que existe un incremento de la resistencia a medida que se aumenta el espesor de la clave del elemento. Por otra parte, el valor de carga más bajo obtenido corresponde a morteros con adición de EPS. Como conclusión, se puede apuntar que, para el interese estudiado y una dosificación de 1:5, los espesores de clave inferiores a 2,58 cm no aportan valores resistentes ajustados a norma (1 KN) [10].

Para investigaciones futuras debe estudiarse el espesor óptimo de la clave en relación a la resistencia y otros parámetros de geometría, como la luz de la pieza para adaptarse a las distintas casuísticas que pueden generarse en la rehabilitación de forjados de madera. Asimismo, se estudiará incrementar el porcentaje del residuo incorporado mediante la sustitución de los áridos comerciales por áridos reciclados para la fabricación de los morteros.

Por otro lado, la dificultad de ejecución debe mejorarse con la incorporación de aditivos plastificantes que supondrán una reducción de la relación agua/ cemento y por tanto, suponemos un incremento de la resistencia.

Otro aspecto a considerar es la eliminación del velo de fibra de vidrio y la cuantificación de su posible influencia sobre la resistencia a flexión de la pieza.

También, al no existir una norma de ensayos específica para este tipo de elementos se estudiará el efecto del zunchado de las piezas realizado y su influencia en los resultados de parámetros resistentes.

Finalmente, el trabajo concluiría con el estudio del proceso constructivo in situ.

AGRADECIMIENTOS

La autora M^a Jesús Morales Conde agradece la financiación de su tarea de investigación al V Plan Propio de la Universidad de Sevilla.

REFERENCIAS

- [1] Jiménez, J.R., Ayuso, J., López, M., Fernández, J.M., de Brito J.(2013). Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. *Construction and Building Materials* 40: 679-690.
- [2] Hansen, T.C. RILEM REPORT 6, Recycling of Demolished Concrete and Masonry, E&FN Spon, Bodmin, UK, 1996.
- [3] Poon, C.S., Kou, S.C., Lam, L., (2002). Use of recycled aggregate in molded concrete bricks and blocks. *Construction and Building Materials* 16: 281–289.
- [4] Poon, C.S., Chan, Dixon, (2006). Paving blocks made with recycled concrete aggregate and crushed clay brick. *Construction and Building Materials* 20: 569–577.
- [5] Marios N. Soutsos, Kangkang Tang, Stephen G. Millard (2012). The use of recycled demolition aggregate in precast concrete products – Phase III: Concrete pavement flags. *Construction and Building Materials* 36: 674-680
- [6] Agrela, F., Barbudo, A., Ramírez, A., Ayuso, J., Carvajal, M. D., & Jiménez, J. R. (2012). Construction of road sections using mixed recycled aggregates treated with cement in Malaga, Spain. *Resources, Conservation and Recycling*, 58: 98-106.
- [7] Guzmán Báez, A (2010) Estudio de las propiedades fundamentales de elementos prefabricados de hormigón no estructurales, con incorporación de áridos reciclados en su fracción gruesa y fina. Trabajo Fin de Máster. Universidad Politécnica de Madrid.
- [8] UNE 1015-11:2000/A1:2007 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido.
- [9] UNE 67-042-88: Piezas cerámicas de arcilla cocida de gran formato. Determinación de la resistencia a flexión.
- [10] EHE-08. Instrucción de Hormigón Estructural.