

# REFUERZOS Y PROTECCIONES SUPERFICIALES SOSTENIBLES PARA BÓVEDAS DE ADOBE RECARGADO EN MÉXICO

Ramón Aguirre<sup>1</sup>; Luis Fernando Guerrero<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Arcilla y Arquitectura, Oaxaca, México, aguirre30@msn.com

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México, luisfg1960@yahoo.es

**Palabras clave:** bóvedas recargadas, esfuerzos mecánicos, deterioro, protección superficial, cal

## Resumen

Las bóvedas vaídas realizadas con la técnica de adobe recargado tienen un alto potencial de desarrollo dado su bajo impacto ambiental y facilidad de construcción. Su diseño se deriva de las bóvedas de ladrillo a las que se conoce popularmente como “de cuña” o “del Bajío” y se han realizado de manera tradicional en el centro de México por lo menos durante los últimos dos siglos. Sin embargo, el diseño de los componentes de apoyo requeridos por la forma de sus empujes, así como sus materiales de revoque exterior cuando se utilizan como techo, resultan cruciales para garantizar su estabilidad y duración. En este texto se analizan alternativas de bajo impacto ambiental destinadas al soporte estructural y protección superficial de bóvedas vaídas que fueron hechas con la técnica de adobe recargado en varios sitios de México. El estudio se realiza a partir de la evaluación del procedimiento y resultados de la implementación de estructuras de confinamiento edificadas con “cob”, fibras vegetales y bambúceas, en combinación con componentes de tierra estabilizada con cal. Los casos analizados se construyeron en regiones de clima seco de México, aprovechando los recursos materiales locales y la ejecución se desarrolló en talleres de transferencia de tecnología.

## 1 INTRODUCCIÓN

La construcción de bóvedas en México tuvo su origen en la época virreinal pues en el mundo prehispánico era desconocida su técnica de elaboración. En la zona maya es posible encontrar estructuras cuyos entresijos y cubiertas fueron realizados con un sistema al que se ha denominado “bóveda falsa” en el que mediante la colocación escalonada de materiales pétreos en saledizo, se lograban cubrir espacios angostos. Sin embargo, se trata de un sistema constructivo que no cumple con las condiciones de reparto radial de cargas y generación de empujes laterales que caracterizan a las bóvedas y cúpulas occidentales.

Después de la conquista española durante el siglo XVI en México se construyeron relativamente pocas bóvedas como consecuencia tanto de la falta de experiencia de la mano de obra local en la ejecución de estas estructuras, como de las condiciones sísmicas que se presentan en la mayor parte del territorio y que eran mucho más intensas que las que conocían los constructores europeos.

Un caso digno de atención es la fuente de Chiapa de Corzo, en Chiapas que sorprende por la temprana época de su construcción, la calidad de su factura y, sobre todo, la sismicidad de su localización, a pesar de la cual se preserva en sorprendentes condiciones de integridad.

El auge de la construcción de sistemas abovedados despuntó hacia el siglo XVII y posteriormente, en concordancia con el estilo barroco, se realizaron cubiertas de mayor complejidad en su trazo y con un desarrollo estructural más audaz (De la Maza, 1985).

En ese contexto se empezó a generar en diferentes localidades de la zona centro-norte del país, a la cual que se lo conoce como la región de “El Bajío”, una técnica popular de elaboración de bóvedas a partir del uso de pequeños ladrillos de dimensiones aproximadas de 20 cm x 10 cm x 5 cm llamados “cuñas”. Gracias al ingenioso acomodo de estas piezas (Ramírez, 2004) y a su proceso radial de edificación, fue posible cubrir espacios bastante amplios en tiempos relativamente cortos y empleando poca mano de obra.

Como la región posee un clima templado y seco, la madera es escasa y por lo tanto cara, por lo que los constructores buscaron la forma de evitar el uso de vigas que eran el medio más común para elaborar entresijos y techos de duela y terrados.

Además, se implementó un procedimiento que permitiera dar forma al sistema constructivo sin requerir el empleo de una cercha o cimbra de apoyo para los ladrillos, de manera que la longitud del brazo del bovedero servía como guía y compás para su trazo. El mortero de liga se aplicaba con exceso de humedad pero los mampuestos se colocaban en seco a fin de poderse fijar en pocos segundos sin requerirse de ningún apoyo (Ver Figura 1).

Así surgió el sistema de bóvedas de ladrillos “recargados” en el que, bajo la lógica de toda mampostería, se levantan hiladas con unidades traslapadas, pero con la inclinación necesaria para generar una superficie curva capaz de dispersar las componentes de las fuerzas de carga gravitatoria.



Figura 1. Trazo de las hiladas de las bóvedas de adobes recargados (Foto: L. Guerrero, 2015).

La geometría de estas bóvedas es muy apropiada porque al ser poco peraltadas, se optimiza al máximo el aprovechamiento de la resistencia a la compresión de cada componente constructivo. Además, como las “cuñas” inicialmente se colocan sobre su área de imposta con una inclinación aproximada 45°, los esfuerzos se transmiten de manera continua hacia las estructuras sobre las que descansan y también con respecto a las piezas que se conectan a lo largo de las directrices y generatrices. Esta condición, por la que se le da el nombre de “bóveda de ladrillos recargados”, le confiere una gran estabilidad al sistema porque las cargas se dispersan en todos sentidos (Ramírez, 2002).

En años recientes se empezaron a realizar de manera experimental algunas bóvedas recargadas substituyendo el uso de cuñas de ladrillo cerámico, por las mismas piezas pero sin cocer, es decir, empleándolas como adobes de pequeñas dimensiones. Asimismo, el mortero que se emplea para las bóvedas convencionales de ladrillo y que se realiza con cal, cemento y arena, se adecuó para contener simplemente tierra con un poco de cal, (Aguirre, 2007) a fin de poder generar un sistema prácticamente monolítico y por lo tanto más estable.

Esta aportación abrió una nueva tendencia en el desarrollo de este tipo de bóvedas y en diversos talleres realizados en varios países, se implementaron soluciones a partir de la experimentación de mampuestos de tierra usados como alternativa a las “cuñas” mexicanas. Se han construido bóvedas con bloques de tierra comprimida (BTC) de diferentes perfiles y texturas o bien, con adobes tradicionales pero de dimensiones menores a las que se usan en muros, a fin de facilitar su manejo y adherencia durante el proceso constructivo.

Las bóvedas de adobes recargados evidentemente representan una solución sumamente viable desde la perspectiva de la sostenibilidad por el bajo impacto ambiental del sistema al no emplear mampuestos horneados, además de ser más económicos y notablemente fáciles de realizar, lo que permite el desarrollo de la autoconstrucción asistida para su empleo en vivienda o espacios comunitarios (Figura 2).



Figura 2. Cierre de una bóveda de adobe y mortero de barro con cal (Foto: L. Guerrero, 2015).

## 2 REFUERZOS ESTRUCTURALES SOSTENIBLES

Pero la geometría curva de estos componentes estructurales, genera empujes radiales sobre los elementos portantes perimetrales, a los que se les denominan fuerzas de “coceo”. Es por eso que históricamente las bóvedas de ladrillos recargados se han construido sobre muros muy anchos, cuya masa absorbe los esfuerzos. Otro recurso empleado en edificios tradicionales de menores dimensiones ha sido la inserción de soleras de arriostre perimetral realizadas con vigas o tablones que servían para conectar las coronas de muros de diferentes longitudes. Finalmente, para bóvedas muy peraltadas los muros tenían que ser reforzados adicionalmente mediante machones o contrafuertes.

Durante la evolución que tuvo esta tecnología constructiva a lo largo del siglo XX este requerimiento estructural se resolvió mediante la integración de refuerzos en forma de anillo de concreto armado que remataban los muros y que transforman los esfuerzos de coceo en componentes de carga axial que permiten disminuir el espesor de los muros. Existen muy diversos ejemplos realizados durante la segunda mitad del siglo XX y lo que va del presente, en edificios de diferentes dimensiones y grados de complejidad, en los que las bóvedas han probado su eficacia y economía, con respecto a entresijos y cubiertas de concreto armado (Aguirre; Guerrero, 2011).

Estas soleras perimetrales funcionan muy bien en edificios que cuentan con muros de piedra, ladrillo cerámico o incluso block de cemento. Sin embargo, si los apoyos son de adobe o tapia pueden llegar presentar problemas estructurales por la elevada discrepancia entre sus coeficientes relativos de contracción y dilatación térmica, pero sobre todo, por las diferencias de resistencia a la compresión y flexión que se vuelven críticas en condiciones dinámicas como las que caracterizan a los sismos.

Por otra parte, para evitar el posible fisuramiento del delgado perfil de las bóvedas, el cual resulta vulnerable ante posibles asentamientos diferenciales, cambios de temperatura, vibraciones cotidianas y sobre todo, movimientos telúricos, convencionalmente se ha acostumbrado colocarles en su extradós una malla metálica electrosoldada que se recubre con concreto (Aguirre, 2004).

Lógicamente, estos refuerzos que incluyen materiales como el acero y el cemento cuya fabricación es tan demandante de energía y que además genera tantos contaminantes a la tierra, aire y agua, restan sostenibilidad a un sistema tan eficiente como el de las bóvedas de adobe cuyo impacto ambiental podría considerarse cercano a cero.

Adicionalmente, el precio de la colocación de estos componentes de hormigón armado disminuye la rentabilidad del sistema, y lo vuelve inoperante en sitios rurales remotos en los que la mayor parte de las veces no se tiene acceso a materiales industrializados.

No obstante, el sistema de las bóvedas de cuña aún con estos materiales, resulta significativamente menos impactante y costoso que los entresijos o techos de hormigón

armado que lamentablemente se emplean en la mayor parte de la construcción convencional de todo el país. (Aguirre; Guerrero, 2011).

Por esta razón, con el fin de realizar una disminución todavía mayor en el impacto al medio ambiente, el consumo de energía y el costo, se ha puesto en práctica la implementación de una serie de mecanismos que permitan substituir el empleo de los componentes estructurales de concreto armado tanto en el anillo perimetral como en la capa superior de las bóvedas de adobe recargado.

A partir de los exitosos resultados del diseño de *domocañas* en Perú, Honduras y Colombia, así como de los innumerables ejemplos de edificios de pacas de paja y de cob en la bioconstrucción, se tomó la decisión de substituir al concreto por mezclas de tierra arcillosa y al acero de refuerzo, por fibras vegetales y tallos de bambúceas que también resultan resistentes a la flexión y tracción (Figura 3).



Figura 3. Anillo de refuerzo realizado con carrizos, haces de paja bañada en tierra arcillosa y cob (Foto: L. Guerrero, 2013).

El sistema superficial de control de fisuración se puede realizar simplemente mediante la colocación de capas sobrepuestas alternadas de pajas largas sobre revoques de tierra arcillosa (Figura 4). Es necesario cuidar que se repartan las fibras de manera que formen una especie de entramado en varios sentidos con lo que se garantiza la flexibilidad del sistema.



Figura 4. Capas sucesivas y alternadas de paja colocada sobre revoques frescos de tierra arcillosa. (Foto: L. Guerrero, 2013).

### 3 PROTECCIONES SUPERFICIALES

Finalmente, un componente clave del éxito de las bóvedas vaídas de adobes recargados que se emplean como techo, incluso las que se construyen en zonas de bajos regímenes pluviales, es su sistema de impermeabilización.



En áreas urbanas o periurbanas existe una tendencia a colocar sobre los techos capas de morteros de cemento y a emplear sistemas comerciales de impermeabilización normalmente consistentes en la aplicación de emulsiones bituminosas sobre textiles poliméricos. Estos sistemas que, al igual que las estructuras de concreto resultan caros y generan una profunda huella ecológica, tienen una duración limitada. Incluso hay fabricantes que no garantizan su permanencia por más de tres años. Además tienen la enorme desventaja de que encapsulan la humedad en su interior y si llega a presentarse alguna infiltración por pequeña que sea, el sistema se empieza a degradar a gran velocidad, efecto especialmente grave en estructuras realizadas con tierra.

Es por eso que la recuperación de la tradición ancestral del empleo de revoques realizados con morteros de cal y arena se convierte en una destacada alternativa para este tipo de sistemas (Ver Figura 5). Como se sabe, estos recubrimientos presentan una porosidad muy adecuada para impedir el flujo del agua en estado líquido pero permiten su evaporación por lo que son plenamente compatibles con las necesidades de “transpiración y respiración” de los componentes de tierra.



Figura 5. Acabado final con un revoque de cal y arena. (Foto: L. Guerrero, 2015).

Para zonas geográficas con mayor pluviosidad es posible mejorar el sistema colocando protecciones superficiales realizadas con capas sucesivas y alternadas de jabón y alumbre en disolución.

Asimismo, se le puede dar un tratamiento final a las superficies mediante un enlucido fino de cal y arena mezclada con materiales puzolánicos (Guerrero; Soria, 2014) como puede ser el polvo de ladrillo que se pule o bruñe con ayuda de una piedra lisa y dura o simplemente con una botella de vidrio (Ver Figura 6).



Figura 6. Pulido del enlucido de cal, arena y polvo de ladrillo. (Foto: L. Guerrero, 2015).

#### 4 CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados derivados de la implementación de materiales naturales como refuerzo y protección de bóvedas de adobe recargado han sido muy alentadores porque han permitido demostrar que es posible eliminar por completo el uso de cemento y acero de refuerzo con lo que se logra una notable disminución en los gastos, el impacto ambiental y la dependencia de materiales ajenos a las localidades.

Las protecciones superficiales materializadas con la combinación de tierra estabilizada con cal y puzolanas, e impermeabilizadas con jabón y alumbre, ayudan a mitigar los efectos

climáticos de estos componentes, prolongando su duración y reduciendo notablemente las acciones de mantenimiento preventivo.

Se trata en ambos casos de sistemas plenamente sostenibles porque permiten que los usuarios participen en su realización sin tener que recurrir a tecnologías o materiales sofisticados. Son métodos fácilmente apropiables por las comunidades, especialmente las de origen rural como se ha podido comprobar a partir del desarrollo de talleres de transferencia de tecnología en los que se han puesto en práctica durante el último año en diferentes sitios de México e incluso fuera del país.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, R. (2004). Bóvedas autoportantes. En Memorias del IV Congreso Desarrollo Local en Municipios de Ecosistemas Frágiles, Santiago de Cuba. CD-ROM

Aguirre, R. (2007). Bóvedas mexicanas. En: Anuario de Investigación de Construcción con Tierra y del Diseño Sustentable. Tampico: Universidad Autónoma de Tamaulipas. p. 171-177.

Aguirre, R.; Guerrero, L. (2011). Las bóvedas de cuña. Una tradición con futuro. En: La Gaceta del Instituto del Patrimonio Cultural, n. 19. Oaxaca: Instituto del Patrimonio Cultural. p. 5-11.

De la Maza, F. (1985). La ciudad de México en el siglo XVII. México: FCE

Guerrero, L.; Soria, F.J. (2014) Estabilización de suelos con cal y puzolanas. En: Construcción con tierra, n. 6, Buenos Aires Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires. p. 15-24.

Ramírez, A. (2002). Bóvedas de suspiro y barro. En: Revista Bitácora, n. 7, México D.F.: Facultad de Arquitectura de la UNAM.

Ramírez, A. (2004). Arquitectura propia. Cubiertas de ladrillo recargado. Portal Vitruvius. Abril, Disponible en [http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq047/arq047\\_03\\_e.asp](http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq047/arq047_03_e.asp) consultado el 20/5/2014.

## AUTORES

Ramón Aguirre Morales, Arquitecto por la UNAM, Catedrático de la Universidad Autónoma "Benito Juárez" de Oaxaca sobre seminario de tesis y Geometría Descriptiva. Su investigación y práctica se ha centrado en el diseño de Bóvedas Mexicanas de adobe y ladrillo asociado a sistemas constructivos regionales. Miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA. Ha impartido cursos en Argentina, Brasil, Colombia, Cuba, España, Francia, Guatemala, México, Paraguay, Perú, Uruguay, Venezuela. Actualmente es director de diseño de la firma "Arcilla y Arquitectura".

Luis Fernando Guerrero Baca, doctor en diseño con especialidad en conservación del patrimonio edificado, maestro en restauración, arquitecto, profesor investigador de tiempo completo en la UAM-Xochimilco. Jefe del área de Conservación y Reutilización del Patrimonio Edificado. Miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA, miembro de la Cátedra UNESCO "Arquitecturas de tierra, culturas constructivas y desarrollo sostenible".