



## BÓVEDAS DE ADOBE ESTABILIZADAS CON CAL

**Ramón Aguirre Morales**

Triangulo Diseño y Construcción.  
Jalapa no 68 progreso tizapan México D.F.  
Tel: (155) 5849 6834 aguirre30@msn.com

**Palabras clave:** bóveda, adobe, cal

### RESUMEN

A lo largo de este trabajo se explicaran las características y ventajas de uso de las “Bóvedas Mexicanas de Adobe”, como parte de una tradición mexicana que busca arraigarse dentro de las necesidades de vivienda en Latinoamérica y que es capaz de adaptarse a los diferentes periodos históricos en sociedades particulares, sin olvidar al hogar dentro de un espacio en construcción fundamental como parte de los derechos del hombre.

Lo que pretendo con este trabajo es el compartir el conocimiento sobre el uso de las bóvedas mexicanas de adobe como una respuesta a las necesidades actuales sobre la construcción y/o mejoramiento de la vivienda, basado en un conocimiento adquirido durante los últimos 17 años, comprobando las ventajas para sus ocupantes en cuanto a costos de obra, confort y sobre todo el mínimo consumo de energía, por lo tanto menos contaminación. Bajo estas circunstancias se obtendrán otros beneficios tales como: intercambiar propuestas alternativas entre instituciones, cooperación e intercambio de ideas entre constructores y autoconstructores, difundir la riqueza histórica y cultural de las bóvedas como un elemento adaptable a las necesidades y posibilidades de Latinoamérica con características similares a las de nuestras comunidades (Aguirre Morales, 2007). La tendencia mundial de nuestros tiempos se caracteriza por la fuerte competencia existente entre todos los países por colocar sus ideas y productos ante los ojos del mejor postor, sin importar la utilización de artimañas que perjudiquen al competidor, la carencia de escrúpulos por ser más que él otro o por ganar más dinero es una constante que trata de mantenerse en silencio, aunque sea un secreto a voces, por otra parte, la opción de compartir y no competir para ganar a costa de lo que sea y quien sea, podría ser una solución para resolver muchos de los problemas que agobian a este planeta, uno de ellos sería el de la vivienda, basada en una arquitectura tradicional propia heredada y probada.

De tal manera el punto principal del presente artículo será señalar las ventajas del uso particular de una arquitectura con características acordes al contexto social e histórico de México y América Latina, así como una aportación propia de nuestra cultura a un universo que se ha enriquecido con nuestras tradiciones durante siglos.

### 1 – INTRODUCCIÓN

En estos tiempos cuando la mayor parte de la población tiene carencias de toda índole, originadas por una globalización que día a día excluye a más gente de educación, salud, empleo, transporte y vivienda, pretendemos hacer la difusión de un sistema constructivo que representa una alternativa viable, económica y adaptable a las necesidades y posibilidades de pueblos de Latinoamérica (Aguirre Morales, 2004).

Se trata de transmitir la experiencia de 17 años construyendo cubiertas de bajo costo, éste es un sistema rico en posibilidades, es una técnica constructiva utilizada tradicionalmente en el centro de la república mexicana y constituye en la actualidad una alternativa para construir cubiertas para viviendas y espacios en lugares rurales o urbanos con el mínimo consumo de energía y utilizando los materiales locales.

Vivimos una era en la que la colaboración creativa entre el hombre y su entorno casi se ha extinguido. En la transición al perfeccionamiento y especialización del trabajo se ha roto el importante vínculo existente entre los que crean los edificios y sus usuarios (figura 1).

No podemos despreciar los logros tecnológicos de hoy que son innegables, sin embargo, aunque aparentemente las técnicas modernas nos dan la posibilidad de hacer cualquier tipo de construcción, es muy alto el riesgo de producir arquitecturas escenográficas cuyo contenido emocional e intelectual se basa, con demasiada frecuencia, en teorías artificiales que guardan escasa relación con las necesidades reales de nuestro país.



**Figura 1** – Resistencia de Bóveda de adobe

La tradición sintetiza las conclusiones de los experimentos prácticos de muchas generaciones frente a un mismo problema aportando a las nuevas generaciones el conocimiento empírico. Nos preocupa la falsa arquitectura que se viene adoptando en las comunidades ya que se trata de un modelo cuyas técnicas no son dominadas en absoluto por los constructores que las ponen en práctica, quienes las copian de segunda y hasta tercera mano teniendo que pagar una patente; construyendo con materiales que no son dóciles al manejo y comprensión empírica y que no resultan apropiados para todos los climas. Esta avalancha de arquitectura sin sentido puede y debe ser detenida devolviendo a los pueblos la herencia renovada de una vigorosa tradición de construcción, inspirada en el territorio, en el conocimiento profundo del sitio y de su realidad.

El copiar las técnicas y la producción arquitectónica de las culturas hegemónicas, en que los ritmos y los costos de construcción son congruentes con el sistema bajo el cual funcionan, puede resultar positivo para el contexto original (Moya Blanco, 2000) para el que fueron creadas dichas técnicas, pero no para el nuestro. El copiar a destiempo nos va llevando como un espejismo a una crisis y pérdida de identidad fundamental; con ello se lastima a los pueblos con menores recursos económicos cuya gran riqueza cultural se ve igualmente empobrecida. Pretendemos proyectar una arquitectura hacia el futuro, desde nuestra propia realidad, con un objetivo claro buscando enlaces con nuestra tradición y concibiéndola como algo generoso para el mundo (figura 2).



**Figura 2** – Proceso constructivo. Foto: Elian Hirsch

Creemos en utilizar una alternativa que permita usar todos los elementos de la técnica actual que estén al alcance, sin inclinación folklórica y tradicionalista, pero recreando las técnicas, sin copiarlas, sino más bien apropiándolas.

## 2. LA SUSTENTABILIDAD DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO

Cubrir espacios y salvar claros ha sido un ejercicio que implica una lucha del peso contra la gravedad, sin embargo es el peso mismo, y su disposición adecuada en el espacio, lo que vuelve a las bóvedas de adobe aptas para resistir las compresiones.

En la historia de la construcción se ha trabajado en la búsqueda de estructuras cuya estabilidad y resistencia dependen de la forma, trabajando en conjunción con las cualidades del material de que están hechas, generando soluciones muy diversas, aunque técnicas muy semejantes.

Desde hace más de doscientos años, en el centro de la República Mexicana, se ha construido con una técnica muy semejante a la que fue desarrollada en Egipto con las llamadas *bóvedas nubicas*. La diferencia es que estas bóvedas se realizan con ladrillo cocido (con medidas de 5 cm x 10 cm x 20 cm), pero el principio es el mismo y consiste en colocar una hilada encima con una pequeña inclinación de otra hilada y formando arcos, de tal manera que estas se soporten sucesivamente (Ramírez Ponce, 2001).

Esta forma de construir apareció en México, aproximadamente hace doscientos años, sistema asimilado de generación en generación; su empleo se concentra en las poblaciones de San Juan del Río, Querétaro y Lagos de Moreno, Jalisco, México y en sus alrededores. Esta técnica es el resultado de esa búsqueda de formas que adecuan lo que se construye a las leyes que rigen la materia en equilibrio, y se ha concebido en nuestro país con una comprensión intuitiva extraordinaria.

Las bóvedas mexicanas son uno de los sistemas constructivos que con el paso del tiempo, se ha consolidado como una alternativa de una sociedad no industrializada para hacer frente a la problemática económica y a los complicados y costosos sistemas constructivos que, importados sin adaptarse a las circunstancias particulares, han venido empobreciendo la producción arquitectónica y la calidad de vida de nuestra sociedad.

Los constructores han consolidado, con escasos medios, un sistema estructural tan racional y adaptado a las propiedades del material y a las exigencias económicas de sencillez constructiva, que es posible que se adapte a muy diversas necesidades y programas. Una técnica ancestral y vigente que hace surgir en nosotros la necesidad y el deseo de difundir sus características, sus ventajas sobre otras y el sencillo método de su ejecución: consiste en superficies abovedadas, ligeras y flexibles a las compresiones y que por lo tanto son aptas para construcciones en zonas sísmicas (Ramírez Ponce, 2002). Esta técnica permite importantes ahorros en tiempos de ejecución y en costos de producción.

Actualmente hemos aplicado este sistema constructivo en la Universidad de Santa Fe en Argentina con el apoyo del arquitecto Jerónimo Silva y el ingeniero Ariel González y en la ciudad de México con la colaboración del ingeniero Salvador Lee Godínez de ANFACAL, utilizando adobe estabilizado con cal, obteniendo buenos resultados y reduciendo aun más el costo final (figura 3).

La sustentabilidad de este sistema constructivo radica en:

- ✓ Construcción con adobe mejorado con cal, medidas 5x10 x20 cm.
- ✓ Bajo consumo de energía, ya que el adobe se cuece con el sol
- ✓ Es muy rápida de construir.
- ✓ Se pega con tierra y cal.
- ✓ No requiere cimbra.

- ✓ No necesita mano de obra especializada.
- ✓ El acabado se realiza durante el proceso que llamamos construir terminado.



**Figura 3** – Taller de construcción de bóveda de BTC y ladrillo, en Santa Fe, Argentina

El aprendizaje de la técnica y la capacitación de los futuros constructores resulta sencillo, tanto para los profesionales en la materia, para los auto-constructores, así como para aquellos que tengan la voluntad de hacerlo ya que el sistema constructivo es simple y repetitivo.

Para la realización de bóvedas estabilizadas con cal se utiliza adobe de 5 cm x10 cm x20 cm con 9% al 12 % de cal, un material de ilimitadas posibilidades. Dichas bóvedas se caracterizan por su ligereza y la no utilización de cimbra a diferencia de otros materiales como el concreto armado. Que en cubiertas se tiene construir con cimbra. Se pueden utilizar como sistemas de entepiso o de azotea. Hemos construido claros hasta 6m. En su lado corto. Este sistema abre la posibilidad de dimensionar una estructura con seguridad y economía con base en métodos (Heino, 2002) no rigurosamente matemáticos. Sus posibilidades formales y geométricas son ilimitadas. (figura 4)



**Figura 4** – Bóveda de ladrillo Ciudad de México generatriz y directriz ondulada

¿Qué importancia tiene el conservar una tradición? Primero que nada nos hace ser únicos, orgullosamente diferentes a los demás sin sentirnos superiores a nadie, con capacidad de compartir nuestros conocimientos y forma de ser. En México nuestra cultura ha actuado al contrario, aquí se nos ha enseñado a despreciar lo tradicional, no solo mediante el bombardeo de publicidad, lo que es peor nos han envenenado el corazón a lo largo de la historia, se asumió la imagen de un conquistador implacable con sentimientos opuestos a los de nuestros abuelos, ese fue para muchos el hombre ideal a seguir, nos hicieron olvidar valores (ingenio, belleza interior, sencillez) que eran parte del diario vivir de nuestra gente pero ¿que hay de adecuar un sistema constructivo antiguo a la modernización, sin que sea

una imposición de un país supuestamente desarrollado?, ¿se puede?, y que además no ignore, niegue, ni excluya a los demás. En el ramo de la construcción esto es posible si el conocimiento se difunde (Tonda, 2000) sin un afán egoísta de anteceder el yo antes que “el compartir”, en otras palabras es enseñar a otros la solución de sus problemas. Esto es posible si se empieza a conocer el uso de las bóvedas mexicanas estabilizadas con cal como una alternativa de construcción que aminore el problema de la vivienda que día a día se agudiza más por el incremento de la población y por la necesidad de buscar un espacio que paulatinamente se reduce, viéndolo desde este punto de vista, se puede dar un fenómeno de convergencia, en una época en que la globalización actúa como un proceso de imposición

### 3. PROCESO CONSTRUCTIVO DE CUBIERTAS RECTANGULARES EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Como síntesis, este sistema de construcción tradicional en México es utilizado con mucha frecuencia en el centro de la república mexicana, lugar de excelentes ladrilleros, lo que ha permitido su trascendencia. Los albañiles han tenido la habilidad y la sensibilidad para desarrollar distintos diseños a través del ladrillo 5 cm x 10 cm x 20 cm (cuña) como único material. Por tal razón decidimos construimos las bóvedas con este sistema constructivo, con la diferencia que lo estabilizamos con cal.

Proceso del ejercicio:

- 1.- Selección del material
- 2.- Estabilización con cal
- 3.- Pruebas de adherencia
- 4.- Muestras de bóvedas para laboratorio
- 5.- Proceso constructivo.

Condiciones óptimas para construir bóvedas de adobe:

- Utilizar adobes ligero 5 cm x10 cm x20 cm.
- Apoyar las hiladas de adobes en las hiladas anteriores.
- Siempre se forman arcos.
- El adobe se pega en seco.

Materiales:

**El adobe:** material de adobe con 10% de cal con medidas de 5 cm x 10 cm x 20 cm, con un volumen 1000 cm<sup>3</sup>, un peso de 1,5 kg a 1,6 kg, una resistencia de 41 kgf/cm<sup>2</sup> y al cortante 2 kg, esta baja resistencia permite que pueda ser cortada manualmente por el albañil, por esta razón el adobe es el material óptimo para trabajar en la elaboración de bóvedas mexicanas.

Para cuantificar el adobe por m<sup>2</sup> se mide de forma cóncava aumentando el 20% al área a cubrir, por ejemplo en una superficie de 4 m x 4 m = 16 m<sup>2</sup> por el 30% de flecha será de 20.80m<sup>2</sup>.

El rendimiento es de 90 piezas por m<sup>2</sup> y un desperdicio del 2,5% lo que tomaremos como base de 90 piezas por m<sup>2</sup>.

**La mezcla:** debe tener una consistencia viscosa y aguada, similar a la que se usa para pegar muros de adobe, para lograr una mejor adherencia con el adobe que se pega en seco. Se prepara en proporciones de 1/2 bulto de bultos de cal (de 25 kg) más siete botes de tierra cernida (cubetas de 20 litros) del mismo material con las que se hicieron los adobes con un rendimiento de 4 m<sup>2</sup> (figura 5).



Figura 5 – Mezcla para pegar adobes

**El andamio:** es la estructura de madera que se coloca dentro del área a cubrir y sobre la que trabajará el albañil. La altura de este andamio le permitirá moverse libremente por lo que el albañil tendrá que alcanzar la trabe de borde (inicio de bóveda) y la altura máxima de la bóveda al mismo tiempo.

**La traves:** es el elemento donde se apoyara la bóveda. El cálculo de la trabe de borde depende del tamaño de la construcción y del claro a cubrir tomando como referencia el empuje de los arcos hacia el lado corto. Por ejemplo para una habitación de 3 m x 4 m es tan pequeño el empuje (coceo) que ocuparemos un armado con cuatro varillas de 3/8 y alambroón de 1/4. El patín (base de bóveda), de concreto armado (en lugares sísmico), es de mínimo 6 cm de base y de 10 cm de altura.

**La flecha:** es la altura máxima que tiene la bóveda, ésta se traza tomando como referencia la distancia del lado corto de la luz a cubrir. Para la altura de la bóveda se recomienda el 30%. La medida de la flecha se toma a partir del arranque de la bóveda, hasta el lecho bajo de la misma; por ejemplo, en un espacio de 3 m x 6 m la flecha será de 90 cm (figura 6).



Figura 6 – Cierre de bóveda. Foto colectivo libre de fotografía

#### 4. CONSTRUCCIÓN DE UNA BÓVEDA RECTANGULAR

En este caso, se toma como ejemplo una superficie de 4 m x 4 m. Este tipo de bóveda es la más simple, se construye sobre cuatro rectas (directrices) horizontales iniciando en las cuatro esquinas, formando cuatro pechinas.

Colocación de los adobes:

1. Sacamos la mitad de las directrices del claro a cubrir, en este caso es de 2 m por lado.

2. Unimos las intersecciones y obtenemos cuatro triángulos conoides a los que llamaremos pechinas.
3. La primera hilada se inicia colocando el Adobe en una esquina cortándolo a la mitad, ochavando las esquinas, es decir, cortando sus esquinas de manera que quede horizontal a ambas traveses y con una inclinación de  $45^\circ$  para mantenerse dentro de los esfuerzos de compresión.
4. En la segunda hilada se apoyan dos adobes sobre la primera hilada con la misma inclinación, semejando un arco y cortando las esquinas del adobe del lado de las traveses.
5. La tercera hilada se apoya sobre la segunda, con la misma inclinación, compuesta por tres adobes, teniendo el ajuste con la pieza del centro, semejando un arco, aunque en realidad lo que forma son líneas rectas, así colocamos el adobe de canto, mostrando sus aristas de 5 cm x 20 cm.
6. La cuarta hilada está compuesta por cuatro adobes cortados. Recordemos que esta pieza de adobe estará cortada en una esquina en forma horizontal a la trabe y apoyada con la misma inclinación de la hilada anterior y ajustando al centro.
5. De la quinta hilada en adelante, variará la cantidad de piezas de adobe; ya que dependerá del tamaño de la pieza en que esté apoyada a la trabe éste método se repite en las siguientes hiladas hasta llegar a la mitad de la trabe, colocando los adobes a los extremos y teniendo el ajuste al centro del arco hasta terminar la primera pechina, este procedimiento se realiza en las cuatro esquinas.
8. La limpieza se hace durante todo el proceso de la construcción de la bóveda con un cepillo de alambre, dejando el adobe aparente del intradós (lado interior de la bóveda), con el criterio que llamamos “construir terminado”
9. Terminadas las cuatro esquinas, se coloca una hilada en cada pechina en forma espiral, paulatinamente mientras avanzan las hiladas, se cierra la bóveda.
10. En la parte superior se deja un acabado común cuando es en entrepiso y cuando es de cubierta se limpia la superficie perfectamente con una pala o cuchara y se le pone una lechada de cal y una segunda capa de cal con arena fina.
11. Después de la lechada (figura 7) se coloca tela de gallinero, terminamos con un entortado de tres a cuatro centímetros de espesor con arena-cal grava de 1/4 y un 10 % de cemento, dejando una superficie lisa para recibir el impermeabilizante, con alumbre y jabón.



**Figura 7** – Lechada de cal

## 5. CONCLUSIONES

Somos herederos de una riqueza constructiva, fruto del saber popular, probada, vigente, y que en nuestra realidad latinoamericana, donde los procesos de industrialización son costosos y escasos, ha significado una alternativa real y favorable ante las limitaciones económicas que la caracterizan y que puede servir de apoyo a las necesidades fundamentales de sociedades en que se viven situaciones semejantes a las de nuestro país.

Nos sumamos al esfuerzo y al trabajo conjunto por difundir y seguir elaborando propuestas acordes a cada cultura sin necesidad de importarlas, pero sin que esto signifique rechazar el desarrollo técnico que se adapte a las posibilidades de cada sociedad. Las carencias de nuestra civilización actual son demasiado evidentes como para no estar seguros de que son indispensables los cambios fundamentales en la asimilación de la técnica para que ésta sea sinónimo de progreso.

Como arquitectos y constructores creemos que la arquitectura tiene un compromiso social, vemos en esta forma de construir una alternativa en la que los materiales se usan en comprensión profunda de su esencia y de sus posibilidades. El difundir herramientas como ésta y ponerlas en práctica, podrá acercarnos a una forma equilibrada de re-humanizar la técnica y dirigirla al servicio y desarrollo del hombre, de las sociedades y de la arquitectura. Es necesario creer en la posibilidad de crecer en el conocimiento de nuestra propia capacidad sin olvidar la estructura de nuestra cultura, sin necesidad de dar la espalda a las alternativas que representen los avances tecnológicos y que también forman parte de nuestro acervo, usados con sentido crítico. Una arquitectura no puede ser sana si no responde a las necesidades esenciales del hombre.

## BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE MORALES, R. (2004). *Bóvedas auto portantes*. IV Congreso Desarrollo Local en Municipios de Ecosistemas Frágiles, CD. Del evento. Santiago de Cuba.

AGUIRRE MORALES, R. (2007). *Bóvedas mexicanas*. Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra, Anuario de Investigación de Construcción con Tierra y del Diseño Sustentable, pp. 171-177. Ediciones Universidad Autónoma de Tamaulipas.

APUNTE (1997). *Las grandes bóvedas hispanas*. Curso realizado del 19 al 23 de mayo de 1997. Madrid.

HEINO, E. (2002). *Sistemas de estructuras*. Editorial Gustavo Gili. Barcelona.

MOYA BLANCO, L. (2000). *Bóvedas tabicadas*. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento. Madrid.

RAMÍREZ PONCE, A. (2001). *Habitar una quimera*. UNAM: México.

RAMÍREZ PONCE, A. (2002). *Bóvedas de suspiro y barro*. Revista Bitácora, nº 7, pp. 48-51. Facultad de Arquitectura de la UNAM. México.

TONDA, J. A. (2000). *Candela Félix*. CONACULTA: México.

## RECONOCIMIENTO

Este artículo se enriqueció con la colaboración de Miguel Chávez Rodríguez y Víctor Vázquez D'Aprano que generosamente me ayudaron a ordenar mis ideas, muchas gracias.

## AUTOR

Ramón Aguirre, arquitecto, especialista en bóvedas, cubiertas ligeras de bajo costo, director técnico de la firma triangulo diseño y construcción. Instructor de talleres y otras prácticas de la Universidad Autónoma de México - UNAM y Universidad Litoral de Santa Fe, Rosario y Buenos Aires, Argentina, entre otras.