# SISTEMAS DE CUBIERTAS Y ENTREPISOS DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL. EL CASO DE LAS BÓVEDAS MÉXICANAS.

**Ramón Aguirre Morales; Alan Laguerenne Becerril**
Arcilla diseño y construcción
UAM-Xochimilco

**Palabras clave:** bóvedas, tierra, construcción

**RESUMEN**
A lo largo de la historia, el hombre, ha tenido la necesidad física de un lugar en donde habitar. Y para concretizarlo ha dependido de la manera en que lo ha construido, es decir, su forma y su tecnología, siempre lidiando con las fuerzas de la naturaleza y la gravedad, y de esto ha sacado partido. En esta búsqueda de cubrir los espacios, han tenido relevancia todo tipo de bóvedas. Como lo plantea Arenas de Pablo (1998: 13) "Estamos tan acostumbrados a vivir bajo las bóvedas de piedra de nuestras viejas catedrales que podemos llegar a creer que el equilibrio estático que pregonan y que hace posible los grandes huecos de sus naves y cruceros es inmediato y fácil de alcanzar."
Las bóvedas, en este devenir constructivo, han quedado hasta cierto punto en desuso, al ser substituidas por las técnicas modernas de construcción de alto costo, que son impuestas por reproducciones totalmente ajenas a nuestras necesidades locales, pero se han mantenido presentes en nuestro país. Las bóvedas motivo de la presente trabajo se presentan en el centro norte de México, para precisar en poblaciones del Bajío en los estados de Querétaro, Guanajuato, Jalisco y en algunas comunidades aisladas de Aguascalientes y Michoacán.

Vista interior del espacio abovedado.

Las bóvedas tienen una evolución constructiva rica en posibilidades, ya que tienen una estructura, cuya estabilidad y resistencia conjugan el aprovechamiento de la forma, con las cualidades de los materiales que las componen, que dan como resultado cubiertas y entrepisos, para espacios de cualquier género, con el mínimo de consumo de energía.
La aplicación de materiales y sistemas constructivos, económicos y bajo impacto ambiental como son las bóvedas, es de gran importancia ya que nuestra realidad como país en vías de desarrollo nos deja a la sombra de modelos implantados, que están fuera de nuestras necesidades. Nuestra realidad como país, necesita una alternativa viable, que se adapte a nuestras necesidades actuales y futuras.

Vista exterior de bóveda, casa en el barrio de santo domingo.

**DESARROLLO**

Los problemas que se nos presentan en la actualidad son múltiples y complejos pero presentan tres características que podemos caracterizar en tres vertientes que son los ambientales, las desigualdades sociales y el problema Fáustico que se refiere a la capacidad mega-destructiva de la tecno ciencia contemporánea (Riechman, 2006).

- Los problemas ambientales se muestran como consecuencia del derroche y depredación del planeta, ya que se le consideraba como una fuente de inagotable riqueza. Sin embargo las reflexiones que se han hecho de que "la tierra es un sistema cerrado y la hipótesis Gaia," (López, 2007) nos da una visión de cómo estamos ensuciando al planeta y esto tiene que ver cómo interactuamos con él. Es decir, la extracción, la producción, distribución, consumo, y desecho de nuestros residuos. Esto sobre pasa a la naturaleza y no puede auto-regenere por lo que pierde la capacidad de asimilar tales impactos. Estos impactos se muestran como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad (Foladori, 2005).
- Las desigualdades sociales: "En la región de América Latina y el Caribe al 2002 existen 220 millones de personas que viven en la pobreza de los cuales el 60% son pobres urbanos y el 40% son pobres rurales con economías de subsistencia, aunque existe un proceso de reducción de la indigencia actualmente desacelerada, los pobres indigentes son más vulnerables que antes y el escenario de escaso crecimiento económico es un escenario muy problemático para alcanzar a reducir la pobreza […]" (Calla, 2003). Otro ejemplo son los potenciales de consumo energético esta imagen la encontramos, "Al comparar el potencial de consumo energético de una persona nacida en los Estados Unidos de Norteamérica y el potencial de consumo de una persona nacida en algún país africano: la proporción es de 1 a 280; esto significa que sería posible atender la demanda energética de 280 personas africanas con la energía consumida por una sola persona estadounidense" (Boada, 2004). Estas desigualdades sociales se pueden ejemplificar desde diferentes perspectivas y todas ellas llevan a un deterioro de la sociedad a una desarticulación con su asentamiento y su calidad de vida.

**El desarrollo sustentable como paradigma para superar los problemas actuales**

El desarrollo sustentable se da como una alternativa para superar los problemas de la civilización. Este exige la transformación de los patrones de producción y consumo el abatimiento de la pobreza y el consumo racional de los recursos energéticos renovables. Se basa en la idea de equidad y trans-generacional entre humanos y especies.

El desarrollo sustentable es de carácter tripartito, el factor económico, el factor ambiental y el factor social. Ningún factor es más importante que otro ya que todos se complementan.
El desarrollo sustentable se enfoca en los seres humanos y no en índices económicos. Así que debemos entregar a la Tierra a nuestras futuras generaciones en las condiciones de vida que se nos entrego a nosotros, para seguir la preservación de nosotros como humanos y de las especies. La vida es el fin que buscamos en un ambiente de equidad social y económica, entre sus individuos, y comunidades. El desarrollo sustentable funge como punto de partida y da seguimiento a la idea de la preservación de las condiciones de vida, que se basan en complejas interacciones.

En la actualidad el desarrollo sustentable puede ser una alternativa para los problemas actuales, ya que de alguna forma sustituye la idea del progreso, esta idea se basa en el crecimiento económico, y en las actividades industriales. Y se da como una alternativa para superar la actual crisis, para el abatimiento de la pobreza, el consumo irracional de los recursos energéticos, y éste requiere que intervengan la cooperación entre individuos y naciones.

Para generar una verdadera transformación de la civilización contemporánea es preciso el generar procesos de colaboración y compromisos, para abatir el empoderamiento de unos cuantos y que permee de forma real al grueso de la población para la solución de los problemas que aquejan a la sociedad.

Pero para hacer una verdadera transformación hacia al ideal de una sociedad sustentable es necesario afrontar de manera simultánea los graves problemas ambientales y sociales, es decir embestir los variados frentes y dimensionar la crisis de la civilización.

**La Ciudad de México en su contexto.**

En la ciudad de México existe el problema de la falta vivienda y es uno de los problemas que más afectan a la población, pero no solo en la ciudad de México, este problema de la falta de vivienda es de prioridad mundial.

La ciudad de México como otras ciudades de Latino América que se encuentran en vías de desarrollo presenta este problema con sus características propias ya que por ser la capital de nuestro país presenta condiciones específicas, primeramente por tamaño desproporcionado de la urbe y de sus peculiaridades endógenas.

La carencia de vivienda en países que se encuentran permanentemente en vías de desarrollo se debe a las políticas neo-liberales, que perciben al problema con una visión de mercado, o sea la especulación inmobiliaria de la ley de la oferta y la demanda.

El problema también se ve reflejado en que "Gran parte de la población queda excluida de una vivienda por la falta de posibilidad de adquirirla, por los mecanismos financieros." (Ortiz, 1998).
Las desigualdades sociales provocan un contexto urbano con asentamientos populares poco o escasamente controlado. Provocando una desintegración en el tejido urbano. Y presentan escases de infraestructura en el mejor de los casos o es nula.

La lucha constante para resolver la carencia de vivienda no solo es problema que aqueja a la ciudad de México. Sino que se han hecho movimientos internacionales para terminar con esta carencia desde la Declaración Universal de los Derechos Humanos en 1948 hasta los compromisos por parte de los gobiernos en los planes de acción Mundial de Habitat acordados en 1996.

En la zona metropolitana de la ciudad de México presenta los índices más altos de habitantes por hectárea 162. Esto quiere decir que un poco más del 60% de su población se encuentra en zona urbana (CONAPO, 2000). Viviendo en condiciones de calidad de vida deplorables.

**La industria de la construcción**

La industria de la construcción nos ha dejado en claro que somos capaces de construir cualquier tipo de edificación. ¿Pero a que costo? ¿Estamos dispuestos a asumir los daños irreparables al medio ambiente?

La industria de la construcción contribuye al deterioro del medio ambiente y tiene que ver con las formas en que producimos y consumimos los recursos naturales, hemos roto el vínculo con el entorno natural. Somos capaces de modificarlo a nuestro antojo o como mejor nos convenga. Pero esto nos lleva a que no dejamos que se reponga del daño que provocamos.

Tomamos del entorno natural lo que está a nuestro alcance y devolvemos a él lo que no nos sirve en forma de desperdicio. Llenamos los vertederos, contaminamos la tierra, el agua, el aire y desequilibramos los ecosistemas.

La industria de la construcción genera miles de toneladas de residuos contaminantes que son arrogados a la atmósfera y miles de toneladas de CO2. Estos contaminantes han incrementado el calentamiento global con el llamado efecto invernadero.

La industria de la construcción consume la mayor parte de energéticos producidos, y la mayor parte de los energéticos tienen su origen en combustibles fósiles no renovables.

La construcción con concreto y acero es la que mayor impacto presenta, ya que combina los problemas ecológicos de ambos materiales, y es la que más se usa como sistema de cubiertas y entrepisos para la vivienda u otro tipo de edificación.

Es necesario poner un alto a esta forma de hacer las construcciones, ya que si seguimos con este camino no dejaremos nada a las futuras generaciones.

**Justificación**

Esta trabajo se enfoca a investigar los materiales y sistemas constructivos de bajo impacto ambiental y se centra en el caso especifico del sistema constructivo de cubiertas y entrepisos que se conocen bajo los nombres de bóvedas mexicanas, bóvedas de ladrillo recargado, bóvedas de cuña o bóvedas del Bajío, como una alternativa para la construcción de estructuras económicas y de bajo impacto ambiental.

Estas bóvedas, son la suma de una práctica atesorada, es una respuesta edilicia a las necesidades locales con los materiales disponibles. En ese sentido, es necesario insistir en las condiciones de vida que tiene la mayoría de la población, es fundamental que sean apropiadas y apropiables. Como lo plantea Toca (1998, 108) "Apropiadas a la región, a los recursos y materiales disponibles, y al medio ambiente en el que se pretenda insertarlas; y apropiables, para que los usuarios las puedan aprender y reproducir."

Los profesionales en el ámbito de la arquitectura, deberíamos diseñar objetos arquitectónicos con criterios ambientales y utilizar para su concreción materiales y técnicas constructivas que permitan el máximo aprovechamiento de sus propiedades, con un mínimo gasto de energía.

Además se espera que se produzca el menor número de emisiones contaminantes y sus residuos sean reaprovechables en nuevos procesos. Sólo cuando minimicemos insumos y residuos, podremos mejorar la eficiencia ambiental del proceso de producción del hábitat. Esto se traduciría en una arquitectura sana y sustentable.

Por otro lado, derivado del rol social la arquitectura, no debería dejarse lugar para las especulaciones de "arquitectos artistas". Como explica Ramírez Ponce (2004:3) "Esta postura es debida, en gran parte, a la de-formación académica, pues en muchas escuelas, los problemas inmediatos, las obras pequeñas, nuestras tradiciones constructivas, no se consideran dignas de ser estudiadas, no son 'arquitectura'. No son merecedoras de la atención de los inefables arquitectos 'artistas'. Siempre pendientes de lo que sucede allende nuestras fronteras, sobre todo, lo que sucede en los países primermundistas. Que sean otros los que piensen e inventen para que nosotros copiemos. Allá, los hombres, acá los monos. A los monos, los reconocemos por su capacidad de imitación, ese rapto de lo ajeno siempre a destiempo. Los arquitectos 'artistas' podrán ser, como en realidad algunos lo son, buenos imitadores, su problema es que nunca dejarán de ser monos." 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. Como se sabe, la tradición es la síntesis de la experiencia acumulada por la sociedad que, a través de atávicos ensayos y errores, ha ido depurando las mejores respuestas constructivas: las que mejor se adaptan a las necesidades locales, a las condiciones geográficas y a los recursos materiales disponibles. (Guerrero, 1994: 12)

Las bóvedas de cuña, cumplen con esta apropiación tradicional por su sencillez constructiva y por ser amigables con el medio ambiente al ser auto portantes y no requerir el uso de cimbras, por lo que hay que tomarlas como respuesta a la necesidad de cubiertas para inmuebles de todo tipo, que permiten dar a los usuarios un lugar digno. Ya que por la problemática y desequilibrios sociales, de la mayor parte de la población que se encuentra viviendo en casas o conjuntos habitacionales con condiciones de vida infrahumanas.

En la actualidad es obvio cuestionarse acerca de qué papel estamos desarrollando para resolver la problemática que tenemos presente, en materias económicas, sociales y medio ambientales. De éste último se ha despertado una preocupación global, por el desgaste desmedido de los recursos naturales que pone en grave riesgo la salud de la población.

Es indispensable tomar conciencia y sensibilizar a la población sobre la necesidad imperante de respetar al medio ambiente, sin dejar de lado la satisfacción de las necesidades del ser humano de habitar con una calidad de vida adecuada para su desarrollo integral. Y tiene que ver con las formas en que la sociedad se ha relacionado con el medio natural, y de cómo interactúa con él. Es por esto que nuestras acciones deben orientarse a detener, revertir y a prevenir los procesos de deterioro del medio ambiente para encaminarnos al desarrollo sustentable del país.

Entiéndase como desarrollo sustentable, "Satisfacer las necesidades de la actual generación sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus necesidades, esto significa reconocer el derecho de cada persona a un nivel de vida adecuado en cuanto a la salud y el bienestar, incluido un acceso adecuado a la alimentación, el vestido, la vivienda, el cuidado médico y los servicios sociales necesarios".1.Así que, el desarrollo sustentable ha ido teniendo una gran importancia en el quehacer humano al poner en la mira todos los procesos que el hombre utiliza para su habitar. Tal es el caso de la industria de la construcción, ya que su actividad es una de las que más violenta al medio natural por su alto consumo de recursos y energía, por lo que toma del medio los insumos y residuos que genera.

Haciendo un breve análisis es dramático constatar la irracionalidad y el desperdicio de materiales y técnicas que emplean los habitantes para procurarse de una morada, en ciudades y aéreas rurales.
Otro de los problemas es la autoconstrucción, que es una realidad a la que no podemos dar la espalda. Primeramente, algunos materiales de construcción dejados a la intemperie se desperdician o se echan a perder, ya que el proceso de hacerse de su morada empieza con un periodo de acopio de materiales que puede tardar meses o incluso años.

Después con la ayuda de familiares o parientes se realiza la construcción de uno o varios cuartos y el proceso culmina con un techo de concreto armado regularmente.
Y así sucesivamente se repite este esquema con la ampliación de la misma, que se va gestando mediante las necesidades de sus ocupantes. Y en consecuencia se van agregando cuartos sin ninguna planeación. Aunado a esto, no se toma en cuenta ningún tipo de criterio ambiental, ni en materiales ni mucho menos en sus procesos constructivos.

Ante este panorama, en la actualidad existe una diversidad de formas en que los profesionistas de la arquitectura están tratando de dar respuesta a esta demanda, desde el punto de vista sustentable. Y es ahí en donde partimos para dar respuesta a la sociedad, desde el punto de vista teórico y práctico.

**Las bóvedas mexicanas como ventaja contra otros sistemas constructivos.**
¿Qué ventajas técnicas, económicas y ecológicas presenta la construcción de bóvedas mexicanas en comparación con otros sistemas convencionales?
Las ventajas técnicas que presentan la construcción de bóvedas mexicanas es que son fáciles de construir. Una vez que se conoce el sistema y como funciona es fácil de transmitir. Porque es simple y repetitivo.

La principal característica de las bóvedas mexicanas, es que funcionan por medio del recargue o sea se recargan las hiladas una a otra. Así las bondades estructurales son que trabaja por medio de arcos que se auto-sustentan y reparten las cargas homogéneamente. Una de las principales características es que las piezas que se utilizan regularmente para la construcción de bóvedas es el ladrillo conocido como cuña que tiene dimensiones de 5x10x20 y este se recarga en el anterior así que ya una vez que se van colocando las hiladas se mantienen por su forma.

Otra de las características que tiene el sistema en que no requiere de cimbra para la construcción ya que como lo decíamos en párrafos anteriores los ladrillos son colocados de canto y se soportan unos a otros y las cargas se reparten homogéneamente.
Este sistema singular tiene características constructivas por su estabilidad y se basa en el recargamiento de las piezas. Lo que lo hace un sistema sencillo de aprender y tiene una ligereza por su forma.

En comparación con otros los otros sistemas de cubiertas o entrepisos es que al no requerir de cimbra para su construcción lo hace un sistema viable y rápido de construir.
Las ventajas económicas que tiene el sistema de bóvedas de cuña es que en comparación con los sistemas que usan regularmente en este caso las losas macizas de concreto es que resultan más caras en comparación con las bóvedas mexicanas. Ya que requieren de cimbra, mano de obra abundante para el colado y manejo de los materiales, y los costos de los materiales resultan mucho más caros, el manejo del acero (las varillas) las dificultades constructivas.

Otro de los problemas de los sistemas que se usan con regularidad es el peso del material ya que este no resiste por su forma sino por el sistema estructural que lo sustenta.

Los costos de las bóvedas por metro cuadrado están entre el 50% y el 60% del costo de una losa de concreto armado que se usan regularmente. Esto es para los claros pequeños ya que para los claros que van de 5m en adelante los costos se incrementan ya que es sabido que las losas de dichas dimensiones necesitan de elementos adicionales para que se sustenten.

Las ventajas ecológicas que se ven someramente a simple vista es que las losas de uso cotidiano conjugan a los materiales más contaminantes como son el concreto y el acero. Las bondades de las bóvedas es que pueden construir de ladrillos cuña o incluso de piezas de tierra sin cocer. Estas piezas de tierra sin cocer están en su fase inicial.

Como se sabe, las estructuras de tierra son totalmente ecológicas ya que para su elaboración no consumen energía de fuentes no renovables, ni tampoco emiten desechos contaminantes, a diferencia del resto de los materiales constructivos. Además, se trata de un material muy económico y al alcance de la mayor parte de la población que, debido a la facilidad de los sistemas constructivos que utiliza, los usuarios pueden ser partícipes directos tanto de la generación y modificación de su hábitat como de su mantenimiento y reparación. (Guerrero, 2007b: 10)

**Particularidades del diseño de una bóveda mexicana.**

¿Qué tipo de condiciones particulares presenta el diseñar y construir una bóveda?
El diseño de una bóveda tiene relación con el claro a cubrir. Es decir, depende del tamaño del claro y la flecha de la bóveda, ya que es un material que trabaja a compresión.
"Las superficies constan de dos elementos básicos, sus directrices o perímetro envolvente y sus generatrices formadas por las distintas hiladas de ladrillo. Ésta últimas se mantienen constantes, pero la variación la podemos encontrar en la geometría de sus directrices." (Ramírez, 2004).

La relación entre la flecha de la bóveda y el claro a cubrir se define por la posición de los puntos de inflexión y porque el ladrillo es un material que trabaja principalmente a compresión. Es decir, los puntos en los que cambia el fenómeno tensional (Torroja, 1960), de "Las compresiones en la parte superior, – área en la que debe mantenerse la bóveda – a las tracciones de la parte inferior". (Ramírez, 2004).

Bien, las bóvedas más simples son las de planta cuadrada. Estas se inician en las cuatro esquinas con un grado de inclinación de las piezas de 45° para que los esfuerzos se mantengan en la zona de los esfuerzos de compresión. Las hiladas son líneas que se curvean como arcos, no desde el punto de vista estructural, sino geométrico. "Aunque en realidad, lo que forman no son líneas curvas, porque el ladrillo no lo es, sino secciones poligonales cuyo lado es el largo del ladrillo, es decir, 20 cm." (Ramírez, 2004).
Una vez que se entiende el sistema de las bóvedas mexicanas y como trabajan las posibilidades son infinitas ya que se pueden adecuar a cualquier tipo de espacio, ya sea habitacional o de cualquier género.

**Caso de estudio**

Desde hace mas de 15 años el Arq. Ramón Aguirre Morales, Director del despacho Arcilla y Arquitectura, junto con un equipo de profesionales en la industria de la construcción se han dado a la tarea de aplicar el sistema constructivo de las bóvedas mexicanas, en su práctica profesional. Sin embargo, hace pocos meses se realizó la primera bóveda con piezas de tierra

sin cocer, en el barrio de Santo Domingo en la ciudad de México, en el que participó el arquitecto Aguirre y el maestro bóvedero Juan Mejía, con la colaboración del ingeniero Salvador Lee Godínez.

Se utilizaron piezas de barro sin cocer de 5 x 10 x 20 cm estabilizado con 5% de cal, incorporando como mortero de liga la misma mezcla pero en estado plástico. Cada pieza mide 1000 cm3 y pesa 1.5 Kg. Se utilizan 90 piezas por metro cuadrado (con un 2.5% de desperdicio) y considerando la junta y el acabado final la bóveda tan solo pesa 270 Kg/m2. Para cuantificar las piezas de barro sin cocer por metro cuadrado se toma en cuenta la forma cóncava de la superficie y se incrementa en 30 % al área a cubrir, de modo que 1 m2 en planta equivale a 1.3 m2 de bóveda.
Los bloques de tierra sin cocer fueron evaluados en el Instituto Politécnico Nacional y presentaron resistencias aproximadas de 31 Kg/cm2 a la compresión y 2 Kg al cortante. Estas características hacen muy manejables las piezas, por lo que pueden ser rebajadas manualmente conforme se avanza en su colocación.

El trabajo en la vivienda de Santo Domingo consistió en la construcción de tres bóvedas como cubierta de sendos locales: el primero de 5.0 x 3.5 m, el segundo de 3.5 x 3.5 m. y el tercero de 2.0 x 2.0 m.

Las bóvedas de ladrillo suelen tener un desarrollo en el que su flecha (altura de la bóveda a lecho interior) corresponde a un 20% de la dimensión del lado corto del local que se ha de techar. Sin embargo, como la resistencia a la compresión de las piezas es menor que la de los tabiques, el maestro Mejía, decidió darle una flecha 30%.

De este modo se obtuvo un peralte mayor, en comparación con las bóvedas de ladrillo de manera que, además de obtener un reparto más homogéneo de las cargas, se consiguió tener mayor pendiente para el apropiado desalojo de las aguas de lluvia.

La mezcla para el mortero tenía una consistencia viscosa y ligeramente excedida de humedad para lograr una mejor adherencia con las piezas. Se preparó en una proporción aproximada de 12.5 kg de cal y 8 cubetas de 19 litros de la tierra cernida. Con relación se consiguió un rendimiento de 4 m².

El sistema requiere de una cadena de cerramiento elaborada con concreto armado, similar a la trabe de una losa, con la diferencia de que su lecho bajo cuenta con un patín de 10 x10 cm en todo su perímetro interior, sobre el cual se desplantará la bóveda.

El procedimiento de ejecución consistió en los siguientes pasos:

1. Se trazó la mitad de las directrices del claro a cubrir de (5.0 x 3.5 m.), que en este caso fue de 2.5 m. y 1.75 m respectivamente, considerando el lado corto de los locales.

2. Se unieron las intersecciones y se obtuvieron cuatro triángulos conoides a los que llamaremos pechinas.

3. La primera hilada de cada pechina se inició colocando una pieza en el vértice, con el canto hacia abajo y las caras dispuestas con una inclinación de 45° con respecto a la vertical. Para lograr un ajuste adecuado, esas piezas se recortan en las esquinas que se apoyan en el patín de la trabe, con el objeto de conseguir el ángulo de reposo mencionado.

4. En la segunda hilada se apoyaron dos piezas sobre la primera, manteniendo la inclinación con respecto a la vertical pero semejando un arco. Se requiere también cortar las aristas de las piezas para que tomen la forma del patín de las trabes.

5. La tercera hilada o generatriz estuvo compuesta por tres piezas y una sección de ajuste al centro, a manera de dovela clave, para mantener el traslape necesario en toda mampostería.

6. La cuarta hilada llevaba cuatro piezas y se mantuvo el corte de las aristas de las piezas que se unen a la trabe para lograr un desplante adecuado.

7. De la quinta hilada en adelante, varía la cantidad de piezas en función del tamaño de la pieza que esté apoyada a la trabe. El procedimiento se repite en las siguientes hiladas hasta llegar a la mitad de la longitud de la trabe, colocando las piezas a los extremos y teniendo el ajuste al centro del arco hasta terminar la primera pechina, este procedimiento se realiza en las cuatro esquinas.

Las bóvedas de tierra en Santo Domingo.

8. Es conveniente realizar la limpieza del intradós de la bóveda durante todo el proceso de construcción con un cepillo de alambre. De este modo se evita la presencia de manchas o residuos y hacen posible el acabado natural de las piezas a la vista en el interior de los locales.

9. Terminadas las cuatro esquinas, se coloca una hilada en cada pechina en forma espiral para que mientras avanzan las hiladas paulatinamente se vaya cerrando la bóveda.

Avance de la segunda bóveda.

10. El acabado exterior de la bóveda se recubrió con cuatro capas: una lechada de cal para tapar los poros, una lechada de cal con arena fina y cernida, un aplanado con mezcla cal y 10% de cemento con arena y tela de gallinero, y finalmente otra lechada de cal para tapar las fisuras, dejando una superficie pulida lista para su posterior impermeabilización.

Vista interior del espacio abovedado.

11. La impermeabilización se realizó con una mezcla de cal y mucilago de nopal. Posteriormente se le aplicó una capa de impermeabilizante convencional.

Impermeabilizante de mucilago de nopal y agua.

12. Como acabado en el interior de la bóveda se aplicó una capa de sellador a base de mucilago de nopal y agua.

Como se sabe, las estructuras de tierra son totalmente ecológicas ya que para su elaboración no consumen energía de fuentes no renovables, ni tampoco emiten desechos contaminantes, a diferencia del resto de los materiales constructivos. Además, se trata de un material muy económico y al alcance de la mayor parte de la población que, debido a la facilidad de los sistemas constructivos que utiliza, los usuarios pueden ser partícipes directos tanto de la generación y modificación de su hábitat como de su mantenimiento y reparación. (Guerrero, 2007 b: 10). Analizando esta experiencia del Arq. Aguirre consideraría que haciendo un estudio de caso contribuiría a generar criterios de aplicación, en cuanto a mantenimiento, costos, seguridad, y la normatividad requerida para su aplicabilidad.

La necesidad de utilizar procesos y materiales ecológicos o de bajo impacto ambiental, evitando desperdicios y mejorando los sistemas vigentes y es fundamental para ayudar a que se logre una real transformación de la forma de ver a la arquitectura, no solo en el aspecto formal, sino en el aspecto de la problemática actual.

¿Qué importancia tiene el conservar una tradición? Primero que nada nos hace ser únicos, orgullosamente diferentes a los demás pero sin sentirnos superiores o inferiores a nadie. Nos da la capacidad de compartir nuestra forma de ser y los conocimientos que hemos heredado de generación en generación. De este modo oponemos resistencia al bombardeo de publicidad, que nos enseña a despreciar lo propio, con la ingenua y cuestionable idea de poder "ser modernos" y así ocupar un lugar en el mundo globalizado.

Pero entonces ¿es posible adecuar un sistema constructivo antiguo a las necesidades de la vida moderna? ¿se puede desarrollar una técnica propia que no ignore, niegue, ni excluya a las comunidades locales? En el ámbito de la construcción esto es posible si el conocimiento se difunde sin un afán egoísta de anteponer el "yo" a la idea de "compartir". En otras palabras, se puede lograr si se enseña a otros a solucionar sus problemas de una manera lógica y ecológica.

En este proceso, la difusión de los conocimientos relativos a las "bóvedas mexicanas" como una alternativa de construcción, puede ser una modesta contribución para aminorar el problema de la vivienda, a través de un movimiento de convergencia, que resista los embates de la globalización que actúa como una imposición basada en la riqueza y la generación de dependencias tecnológicas.

El aprendizaje de la técnica y la capacitación resultan sencillos para los profesionales en la materia, para los auto-constructores, así como para aquellos que tengan la voluntad de hacerlo ya que se trata de un sistema constructivo simple y repetitivo.

**CONCLUSIONES**

"Las creaciones tradicionales desde el diseño de objetos, actividades individuales o colectivas hasta las transformaciones espaciales, para poder trascender requieren de tres elementos fundamentales. Primero el conocimiento y respeto de su valor, segundo la revitalización de su uso con las aportaciones creativas pero responsables de cada generación y, tercero, de la obligatoriedad de su transmisión. Las tradiciones son delicadas y sensibles por lo que para que puedan seguir vivas requieren algo más que su estudio y difusión, algo más que su repetición y almacenaje en ambientes artificiales y asépticos ajenos a su origen: necesitan su actualización, es decir, su activación condicionada a las circunstancias cambiantes de cada época." (Guerrero, 1994: 18)

Somos herederos de una riqueza constructiva, fruto del saber popular, probado, vigente, y que en nuestra realidad latinoamericana, donde los procesos de industrialización son costosos y escasos, se vuelve un patrimonio invaluable.

Nos sumamos al esfuerzo y al trabajo conjunto por difundir y seguir elaborando propuestas acordes a cada cultura, pero sin que esto signifique rechazar el desarrollo técnico que se adapte a las necesidades 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 que sustenten el progreso real de la sociedad.

Como diseñadores y constructores que creemos que la arquitectura tiene un compromiso social, vemos en esta forma de edificar una alternativa en la que los materiales se usan a partir de una comprensión profunda de su esencia y de sus posibilidades. 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 en convivencia con la naturaleza.

Es necesario creer en la posibilidad de crecer en el conocimiento de nuestra propia capacidad cimentada en la estructura de nuestra cultura. Las alternativas que representen los avances tecnológicos también pueden formar parte de nuestro acervo cultural, siempre y cuando sean usados con sentido crítico. Una arquitectura no puede ser sana y sustentable si no responde a las necesidades esenciales del hombre.

**GLOSARIO**

**Arista o aristón**.- Línea que resulta de la intersección de dos superficies, considerada por la parte exterior del ángulo que forman.

**Clave**.- dovela central en el vértice de un arco. Piedra más alta de una bóveda o la intersección de dos o más nervios.

**Cúpula de pechinas**.- Cúpula formada cortando una semiesfera por cuatro planos verticales que corresponden a los lados de un rectángulo inscrito en el círculo de arranque: es decir, es una cúpula levantada sobre las cuatro pechinas. También llamada Bóveda vaída.

**Bóveda**.- Estructura arqueada de piedra, ladrillo u otro material que forma el techo o la cubierta de una habitación o de otro espacio parcial o totalmente cerrado. Obra de fábrica curvada, que sirve para cubrir el espacio comprendido entre dos muros o varios pilares. Habitación labrada sin madera alguna, cuya cubierta o parte superior es de bóveda.
**Bóveda de cañón**.- bóveda de sección transversal semicircular. Sinónimo bóveda cilíndrica.
**Bóveda cónica**.- La que tiene una sección transversal circular de mayor diámetro de un extremo que en otro.
**Dovela**.- Piedra labrada en forma de cuña, para formar arcos o bóvedas, el borde del suelo del alfarje, etc. // Constr. Cada una de las superficies de intradós o de trasdós de las piedras de un arco o bóveda.
**Directriz**.- línea fija que guía el movimiento de una generatriz para descubrir una curva o superficie. Dicho de una línea, de una figura o de una superficie: Que determina las condiciones de generación de otra línea, figura o superficie. Conjunto de instrucciones o normas generales para la ejecución de algo.
**Estribar**.- Dicho de una cosa: Descansar en otra sólida y firme.
**Hilada**.- Serie horizontal de ladrillos o piedras en un edificio.
**Hilada de arranque**.- En una bóveda de albañilería, hilada horizontal que constituye la transición entre los contrafuertes o las impostas de la bóveda.
I**ntersección**.- Encuentro de dos líneas, dos superficies o dos sólidos que recíprocamente se cortan, y que es, respectivamente, un punto, una línea y una superficie.
**Lechada**.- Masa muy suelta de cal o yeso, o de cal mezclada con arena, o de yeso con tierra, que sirve para blanquear paredes y para unir piedras o hiladas de ladrillo.
**Mucilago o mucílago**.- Sustancia viscosa, de mayor o menor transparencia, que se halla en ciertas partes de algunos vegetales, o se prepara disolviendo en agua materias gomosas
**Patín**.- Es una saliente en perímetro interior de la trabe, sobre el cual se desplanta la bóveda.
**Pechina**.- Cada uno de los triángulos esféricos que forman la transición de la planta circular de de una cúpula a la planta poligonal de su estructura sustentante: dicho de otro forma, Cada uno de los cuatro triángulos curvilíneos que forman el anillo de la cúpula con los arcos torales sobre que estriba.
**Generatriz**.- Elemento que engendra una figura geométrica, en especial una línea recta que engendra una superficie al desplazarse de una manera determinada. Dicho de una línea o de una figura: Que por su movimiento engendra, respectivamente, una figura o un sólido geométrico.

**BIBLIOGRAFÍA**

Definiciones.
1.- Definición del centro de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos HABITAT, 1991.
**Libros.**
Fathy, Hassan, 1975, Arquitectura para los pobres, Textos Extemporáneos, México D.F.
Ramírez P., Alfonso, 2001, Habitar una Quimera, UNAM, México D.F.
Toca F. Antonio, 1998, Arquitectura y ciudad, IPN, México D.F.
Guerrero B., Luis, 1994, Arquitectura de tierra, UAM-Azcapotzalco, México D.F.
Guerrero B., Luis (Coord.), 2007b, Patrimonio construido con tierra, UAM-Xochimilco, México D.F.
Juan J. Arenas de Pablo, 1998, Las grandes bóvedas hispanas, Madrid 1998.
Pedro Lorenzo Gállido, (Coordinador y redactor general) 2005, Un techo para vivir, ETSAV. Ecola Técnica Superior d´ Arquitectura del Vallès.
Riechmann, Jorge, (2006), Biomímesis. Ensayos sobre imitación de la naturaleza, eco socialismo y auto contención, 1a ed., España, editorial Los libros de la Catarata, 2006, 362
López López, Víctor Manuel, 2007, Sustentabilidad y desarrollo sustentable, Origen precisiones y metodología operativa, Editorial Trillas.
Ortiz Flores, Enrique, (1998), Notas sobre la Producción Social de Vivienda - Elementos básicos para su conceptualización e impulso. Documento para discusión, México, D. F., Casa y Ciudad, Febrero de 1998, 71 páginas.
CONAPO (2000), Escenarios demográficos y urbanos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2010, México.
TORROJA, Eduardo, 1960. Razón y ser de los tipos estructurales. Editorial Instituto E. Torroja, p. II-3.
**Tesis**
Pacheco Martínez, Jorge Alberto, 2008, El consumo energético en la vivienda autoproducida. UAM-Xochimilco, México D.F.

Ramírez P., Alfonso, 2002, "Bóvedas de suspiro y barro", en Revista Bitácora, nº 7, Facultad de Arquitectura de la UNAM, México D.F.
Du Plessis, Chrisna, 2002, Agenda 21 For Sustainable Construction in Developing Countries, CSIR Building and construction technology, Petroria, Sudáfrica.

**Seminarios.**

Calla García, Alberto, 2003, Ponencia: La tecnología en la producción de viviendas y su influencia en la calidad de vida, Seminario Iberoamericano de políticas de viviendas. San Miguel Tucumán, República de Argentina del 11 al 14 de noviembre de 2003.

**Páginas web.**

Ramírez P., Alfonso, 2004, "Arquitectura propia. Cubiertas de ladrillo 'recargado' (1)", Abril, Portal Vitruvius, http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq047/arq047_03_e.asp
Marín, P., Ana María, 2002, "Más con menos: elementos gráficos para un estudio de las variaciones de las bóvedas aligeradas de fábrica (tabicadas) S. XVIII-XX", e IX Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica. Re-visión: Enfoques en docencia e investigación http://www.udc.es/dep/rta/WebEGA/PDFs/Grupo3/MARI2.pdf
Bóvedas mexicanas http://www.arcillayarquitectura.com Aguirre M., Ramón.

**Ramón Aguirre Morales**, Egresado de la UNAM, Especialización en Cubiertas ligeras en el posgrado de la UNAM. Experiencia laboral: Construcción de bóvedas, de forma independiente desde 1991 y como director técnico de la firma Triángulo Diseño y construcción. Difusión del tema, por medio de cursos, conferencias y prácticas, en diferentes instituciones en México como en el extranjero.c.e.: aguirre30@msn.com
**Alan Laguerenne Becerril**, Egresado de la UAM-X, Diplomado en Conservación y reutilización Arquitectónica, Estudiante de Maestría en la UAM-X, en el área de Sustentabilidad ambiental. Experiencia laboral: Coordinador del Área de Proyectos en Asesoría Jurídica Notarial e Inmobiliaria S. C. Coordinador de Proyectos de Vivienda, en Fundación Vamos a dar S.C. c.e.: alanlaguerenne@hotmail.com

**Currículum:**

**Ramón Aguirre Morales,** Egresado de la UNAM, Especialización en Cubiertas ligeras en el posgrado de la UNAM. Experiencia laboral: Construcción de bóvedas, de forma independiente desde 1991 y como director técnico de la firma Arcilla y Arquitectura. Difusión del tema, por medio de cursos, conferencias y prácticas, en diferentes instituciones en México como en el extranjero.

**Alan Laguerenne Becerril,** Egresado de la UAM-X, Diplomado en Conservación y reutilización Arquitectónica, Estudiante de Maestría en la UAM-X, en el área de Sustentabilidad Ambiental. Experiencia laboral: Coordinador del Área de Proyectos en Asesoría Jurídica Notarial e Inmobiliaria S. C. Coordinador de Proyectos de Vivienda, en Fundación Vamos a dar S.C.