

CASA DE TIERRA SOSTENIBLE

Raúl Adolfo Sandoval Tejada, Juan Pablo Sandoval Calderón

Casa de Tierra Bolivia; casadetierrabolivia@gmail.com

Palabras clave: Adobe, bóveda autosustentada, inercia térmica, materiales locales, mano de obra

Resumen

En el Altiplano boliviano es duro vivir con poco oxígeno, tierra árida y grandes variaciones de temperatura entre día y noche, alta insolación (de 240 días de sol/año) y fuertes vientos. Existe déficit de viviendas, ausencia de madera y materiales de construcción; asimismo, la deficiente calidad de vivienda genera altos índices de mortalidad, poca conciencia sobre vivienda fomentadora de salud y desconocimiento de un concepto de vivienda adecuado, ecológico y sostenible. Con el objetivo de mejorar las condiciones de vida de las familias, especialmente de menores recursos, se estudió la arquitectura de Nubia y rescató formas históricas constructivas del Altiplano, desarrollando el concepto *Lak'a Uta* (casa de tierra, en aymará). Consiste en una bóveda catenaria autosustentada de adobe, que mediante una técnica sencilla de construir y sin grandes inversiones de dinero, posibilita levantar una casa usando exclusivamente materiales de tierra. Masa en muros y cubierta actúa como un cuerpo expuesto al sol; la tierra, por su baja inercia térmica calienta lentamente durante el día, restituyendo calor al interior durante la noche; fenómeno mejorado con la aplicación de un sistema de calefacción solar pasiva, muro *trombé*. Utiliza y recupera materiales locales, económicos y ecológicos; da valor agregado a la tierra convirtiéndola en material de construcción; utiliza intensivamente mano de obra; cubierta y muros tienen efecto natural de aislamiento; resistente al fuego y viento; balance térmico dentro rangos del confort ambiental; no contamina el medio ambiente. Por ello son: sostenibles con relación al medio ambiente, más sanas y económicas que las viviendas tradicionales y mejoran condiciones de vida. Como resultado, existen en Bolivia aproximadamente 15 mil m² de construcción registrados. El concepto es considerado pionero del desarrollo sostenible, fue nominado y registrado como Proyecto Oficial de la Exposición Mundial Hannover 2000, con otros 486 proyectos del mundo; cuyo tema fue desarrollo sostenible.

1. INTRODUCCIÓN

El presente artículo proporciona recomendaciones generales que deben ser observadas durante el diseño, construcción y control de obras *Lak'a Uta* (casa de tierra en aymará); para conseguir y garantizar la seguridad, durabilidad, economía y calidad de éstas.

Las recomendaciones y procesos constructivos fueron desarrollados sobre la base de la experiencia obtenida desde 1990 a la fecha, los que fueron apoyados por investigaciones, análisis y bibliografía internacional.

1.1 Problemática

Uno de los principales problemas que afecta a la humanidad es la escasez de viviendas adecuadas; en la Segunda Conferencia de las Naciones Unidas sobre asentamientos humanos y HABITAT II (1996, p.36) "se ha establecido un Plan de Acción Mundial con recomendaciones de políticas para alcanzar avances en el orden social, ambiental y económico".

"Se estima que alrededor del 30% de la población mundial vive en construcciones de tierra. Aproximadamente el 50% de la población de los países en desarrollo, incluyendo la mayoría de la población rural y por lo menos el 20% de la población urbana y urbano marginal, viven en casas de tierra" (Houben; Guillard, 1994); sin embargo, no se puede negar que como material de construcción actualmente sufre un proceso de deterioro cultural y tecnológico, donde actualmente el uso del material de tierra en la construcción se ve restringido por la insuficiencia de conocimientos técnicos, normas y además debido a prejuicios derivados del desconocimiento del material.

En el Altiplano boliviano existe déficit de vivienda, ausencia de materiales de construcción e inexistencia de políticas estatales concretas de crédito de vivienda para la población rural pobre; asimismo, es duro vivir con poco oxígeno, tierra árida y grandes variaciones de temperatura entre día y noche, alta insolación (de 240 días de sol por año) y fuertes vientos.

La baja calidad y carencia de vivienda, se manifiestan en una disminución de la calidad de vida, desarrollo individual y colectivo, altos índices de enfermedad y mortalidad infantil, poca conciencia sobre la vivienda fomentadora de salud y falta de conocimientos acerca de un concepto de vivienda adecuada y sostenible.

1.2 Antecedentes

La construcción con tierra en la región andina tiene raíces ancestrales y adquiere fuerte tradición durante el desarrollo de las culturas prehispánicas.

Bolivia, con su variado territorio, es escenario del desarrollo histórico de la construcción con tierra como expresión vernácula en sus viviendas y otras edificaciones; estas tradiciones y técnicas constructivas fueron multiplicándose y actualmente forman parte del patrimonio de la arquitectura de tierra en el altiplano boliviano.

La cultura de los pueblos del Altiplano boliviano, está históricamente ligada al uso de la tierra en la construcción, utilizando este material a través de técnicas constructivas apropiadas al clima y forma de vida de cada lugar, en cuya expresión se incorpora cubiertas de este material.

La tierra como material de construcción subsiste y tiene vigencia, pues no otra cosa significa que gran parte de la población mundial y especialmente en América Latina, se construye con adobes, tapias y técnicas mixtas de tierra; produciendo desde las más modestas viviendas hasta los más grandes monumentos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Principal

Mejorar las condiciones de vida, especialmente de las familias de menores recursos del Altiplano, a través de la continuidad del desarrollo científico y tecnológico del uso de la tierra como material de construcción, logrando la reivindicación cultural de éste y su inserción armoniosa en el medio ambiente.

2.2 Objetivos específicos

- a) Desarrollar una reglamentación técnica y normas de calidad para el uso apropiado del material tierra en la construcción
- b) Promover la educación y capacitación de profesionales, técnicos y albañiles en el diseño y construcción con tierra, permitiendo superar el proceso de deterioro tecnológico que sufre éste material
- c) Propiciar la participación de diferentes grupos meta, permitiendo acelerar el proceso de revalorización técnica y sensibilización de la sociedad con este material

3. METODOLOGÍA ADOPTADA

Por lo expuesto, se ha estudiado la arquitectura de Nubia, que tiene sus orígenes hace más de 6 mil años y se ha rescatado las formas históricas de construcción en el altiplano, desarrollando el concepto de construcción *Lak'a Uta*.



Figura 1. Chullpa Precolombina, Culli Culli, cantón Lahuachaca, provincia Aroma, La Paz, Bolivia

El concepto surge en el altiplano boliviano a partir de 1990, en la localidad de Lahuachaca, Provincia Aroma - La Paz, mediante el Proyecto Piloto Experimental *Lak'a Uta*, ejecutado gracias a la visión del arquitecto danés Lars Jakobsen.

3.1 Concepto *Lak'a Uta*

Consiste en una bóveda catenaria autosustentada de adobe, que mediante una técnica sencilla de construir y sin grandes inversiones de dinero, posibilita levantar una casa usando exclusivamente materiales de tierra.

La masa en muros y cubierta actúan como un cuerpo expuesto al sol; en el que la tierra, por su baja inercia térmica almacena energía lentamente durante el día y la restituye durante la noche; este fenómeno es mejorado con la aplicación de un sistema de calefacción solar pasiva - muro *trombé*, que se construye adosado al lado de la casa orientado al sol.

El comportamiento de las construcciones está directamente relacionado, en primer lugar con la calidad de los adobes que se utilizan, en segundo lugar con un diseño y criterio estructural adecuado y en tercer lugar con el proceso constructivo.

El sistema estructural está constituido por componentes de tierra (muros y cubiertas) que componen una unidad portante, formando una masa estructural que trabaja exclusivamente a compresión; el que correctamente ejecutado se constituye en una unidad monolítica, donde el volumen y peso propio de la masa construida, más las cargas no permanentes que actúan sobre la construcción, se transmiten uniformemente desde la cubierta a los muros y cimientos, debiéndose repartir sobre una superficie que esté en una directa relación con el volumen y peso de la masa construida; de esta manera no hay posibilidades de colapso.

3.2 Parámetros constructivos y componentes de una *Lak'a Uta*

Las limitaciones estructurales y constructivas constituyen los parámetros más significativos que condicionan el diseño arquitectónico, debiéndose conceptualarlo con un criterio estructural-constructivo.

El emplazamiento geográfico está condicionado a regiones o zonas tectónicamente estables, donde la ocurrencia de sismos es despreciable o nula.

En base a la experiencia, se pueden enumerar las siguientes recomendaciones generales:

- a) Las cubiertas condicionan parcialmente la morfología, admitiendo variabilidad formal en conjuntos espaciales
- b) Las condicionantes del diseño son la simetría en las luces de la cubierta, colocación de vanos en los ejes de los muros transversales a la cubierta y circulaciones

- c) La luz de las bóvedas está limitada por la resistencia de los adobes, sin embargo se puede cubrir grandes luces construyendo arcos paralelos o incrementando la sección de los adobes de la cubierta
- d) Posibilita tipologías compactas y dispersas, requiriendo espacios de articulación
- e) Todos los elementos permiten la coordinación modular
- f) Para que la estructura se soporte adecuadamente ante solicitaciones, el diseño en planta y volumen deberá buscar la simetría

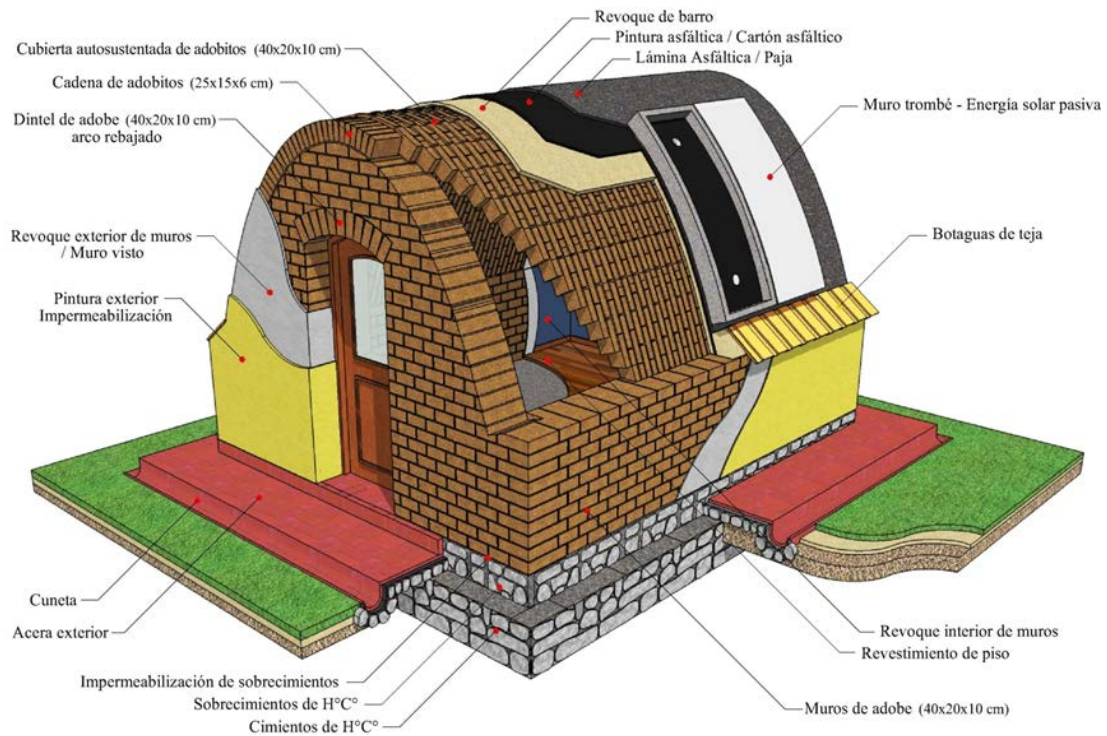


Figura 2. Componentes de una construcción *Lak'a Uta*

3.3 Elaboración de adobes y adobitos

Las dimensiones finales de adobes, guardan relación con las medidas de los elementos constructivos a los que están destinados (muros, tabiques, arcos, bóvedas, cúpulas, etc.).

Tradicionalmente en el Altiplano, las dimensiones establecidas por práctica constructiva son:

- a) Adobes para muros – 40 cm x 20 cm x 10 cm
- b) Adobitos para cubiertas – 25 cm x 15 cm x 6 cm

Sin embargo, las medidas del material se acomodan a las dimensiones locales; asimismo, se trabajan con medidas alternativas, que respondan a criterios de coordinación modular.

Existe amplia bibliografía sobre pruebas de campo para la elaboración de adobes, que se realizan para conocer las características de las tierras y dar las recomendaciones necesarias para su uso en la construcción; las principales son:

- a) Sedimentación: Conocer la composición de la tierra
- b) Bolillo: Establecer el grado de humedad del barro y su composición
- c) Tablilla: Estimar la plasticidad del barro

Los resultados de pruebas de campo son informativos y referenciales respecto a la calidad del material a utilizar. En caso que se requiera información precisa sobre las características físicas y mecánicas del material se recomienda realizar ensayos de laboratorio.

3.4 Cimientos

El cimiento descansa directamente sobre la capa de terreno resistente. Los materiales se establecen en la respuesta de la fundación a las sollicitaciones, su capacidad para admitir deformaciones y soportar la presencia de agua subterránea o de infiltración.

En general son ejecutados en hormigón ciclópeo, que incrementan la solidez de los cimientos o de piedra unida con mortero de barro, cuando la calidad del suelo lo permite.

3.5 Sobrecimientos

Son los muros intermedios entre cimientos y muros; que de acuerdo con el detalle de las funciones que cumple, debe estar construido con un material resistente al agua y tener buena rigidez para distribuir las cargas de los muros en el cimiento.

3.6 Impermeabilización

Es la protección que se coloca sobre el sobrecimiento y evita que la humedad suba a los muros por capilaridad. Se utilizan materiales impermeables como polietileno, cartón asfáltico, alquitrán diluido o aceite sucio.

3.7 Muros

Constituidas por paredes portantes de adobe tradicional unidas con mortero de barro, que además de delimitar el espacio interior, soportan la cubierta.

El mortero de unión debe ser del mismo material que el de los muros, para obtener la debida adherencia y homogeneidad. Asimismo, no debe contener gravillas ni paja y debe ser cernido. La fisuración del mortero que se produce en el proceso de secado, debe ser la mínima posible, en especial si la tierra del mortero es de alto contenido de arcilla.

Se construyen diversos espesores de muros, definidos por la coordinación modular y diseño estructural.

Previamente a proceder a su ejecución, se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones generales:

- a) Las juntas horizontales y verticales son de mortero de barro, de un cm a dos cm de espesor en muros de adobe. El exceso o irregularidad de espesor de mortero debilita al muro, evita una coordinación modular adecuada y produce pérdidas de material por cortes
- b) El volumen de mortero recomendado es de 20% del volumen del muro
- c) Los muros, deben construirse máximo hasta un m de altura por día, para evitar que su peso aplaste las juntas antes de que se sequen

3.8 Bóveda catenaria

Conceptualmente, es una sucesión de arcos dispuestos lado a lado, constituyendo una estructura que cierra superiormente un espacio y es siempre tridimensional.

De las diferentes técnicas de construir bóvedas, el concepto *Lak'a Uta* desarrolla las bóvedas autosustentadas que no requieren cimbras en su ejecución; se ha trabajado en bóvedas con luces de entre tres y seis metros.

Las bóvedas de materiales térreos se componen de elementos constructivos de menor tamaño (adobitos) que el espacio que cubren, por lo que gravitan sobre el espacio y para sostenerse transmiten su peso y las cargas de uno a otro elemento hasta sus apoyos.

Soportan exclusivamente esfuerzos de compresión, por lo que la forma catenaria es la apropiada, ya que evita fatigas de tracción y transmite la compresión uniformemente a los apoyos continuos o concentrados sobre apoyos aislados.

Cualquier tipo de carga que solicita a la bóveda, produce una línea de presiones que necesariamente debe ser concordante con la directriz del arco y que debe estar inmersa en el tercio central de la cubierta y de la sección portante del muro.

a) Relación flecha/luz

La relación flecha/luz que garantiza la estabilidad de la bóveda es del 60%.

Flechas menores a 50% de la luz inducen esfuerzos, que originan que la inclinación de las reacciones tenga un ángulo muy bajo, generando solicitaciones horizontales que los muros no pueden soportar.

Flechas mayores a 75% de la luz, originan reacciones horizontales pequeñas, pero la longitud de la curva directriz crece innecesariamente, produciendo peso propio muy alto.

b) Diseño de la bóveda catenaria

El diagrama de una catenaria (una cadena suspendida en sus extremos) simula a un arco sostenido por su propio peso, pudiendo determinarse mediante cálculos matemáticos, gráficos o simulación.

El diseño de la curva catenaria por simulación, consiste en colgar sobre un muro auxiliar una cadena, referida a la luz y flecha, que se determinan anticipadamente.

Se la ejecuta trazando una recta a nivel sobre el muro auxiliar marcando en éste mediante clavos la distancia de la luz de la bóveda; a la mitad de la distancia, se marca hacia abajo con plomada la longitud de la flecha (60% de la luz); se sujeta una cadena en uno de los extremos que marcan la luz de la bóveda y se regula el otro extremo hasta que la cadena coincida en su parte inferior con el punto medio marcado, el perímetro de la cadena constituye la curva directriz de la bóveda; posteriormente se divide y marca la distancia de la luz de la bóveda en mitades iguales hasta obtener distancias entre 15 cm ó 20 cm; finalmente de los puntos marcados sobre esa distancia se obtienen con plomada las intersecciones con la cadena, anotando las medidas obtenidas.



Figura 3. Diseño de curva catenaria, Lahuachaca, Bolivia (Crédito: Jakobsen, 1990)

c) Muro catenario

Es el muro en el que se sustenta el inicio del proceso de construcción de la cubierta, es ejecutado en sentido transversal a la bóveda, sirve para cerrar un espacio y es necesario para la estabilidad y rigidez de la bóveda.

Para su ejecución se construye los muros aproximadamente con las dimensiones obtenidas durante el diseño de la bóveda; en el que se marcan cada 15 cm ó 20 cm, y en el mismo orden hacia arriba, las distancias obtenidas en la simulación; posteriormente se unen los puntos obtenidos logrando de esta manera la forma exacta de la catenaria en los muros; con ésta se procede a tallar y rellenar el muro obteniendo la curva de la cubierta.

d) Cadena

Se ejecuta sobre el perímetro exterior de los muros catenarios; para su ejecución se requieren adobitos de 25 cm x 15 cm x 6 cm, sobre la que se apoyarán los bordes de la bóveda autosustentada en todo su perímetro.

e) Bóveda catenaria

Una vez concluida la cadena, se procede a construir la bóveda autosustentada, que consiste en ejecutar hiladas inclinadas de adobitos, con una relación entre base y altura de uno a tres. Esta inclinación permite que las primeras hiladas incompletas se apoyen en la intersección entre muro catenario y cadena, para de esta forma mantener estabilidad; una vez que se consigan hiladas completas, éstas se descargan como arcos verticalmente hacia los apoyos laterales.

Debe ejecutarse simultáneamente en ambos muros catenarios, para cerrar la cubierta en la parte central; por día es conveniente avanzar hasta un metro por sector, para evitar asentamientos de la bóveda por aplastamiento de las juntas frescas.

Para su ejecución se clavan lienzas longitudinales entre ambos muros catenarios, aproximadamente cada 50 cm; las que sirven de guías y permiten construir la bóveda sin deformaciones; el primer adobito inclinado es la base de cada hilada y debe ser tallado en su base de manera que se asiente en el muro longitudinal; los primeros adobitos de cada hilada deben alternar entre una y media pieza, para lograr una traba correcta.

Los adobitos se asientan con mortero en la cara en la que presenta los rebajes, cada hilada que se ejecuta alcanza mayor altura hasta unirse en la cúspide y a partir de allí todas las hiladas deben concluirse totalmente antes de pasar a la siguiente; usando las lienzas como guías, manteniendo la inclinación y una correcta traba se continúan las siguientes hiladas.



Figura 4. Ejecución bóveda catenaria, Lahuachaca, Bolivia (Crédito: Paz, 1990)

Se ejecutan hiladas simultáneamente en ambos sentidos, hasta que los arranques de las últimas se encuentren aproximadamente a un adobito de distancia; en este espacio se empieza a cerrar la bóveda montando hiladas horizontales con la forma catenaria, hasta la altura en que se pueda apoyar una nueva hilada inclinada a cada lado y quede espacio para un nuevo adobito horizontal; continuar con este procedimiento en ambos lados, hasta cerrar la bóveda en la parte superior.

En el caso de intersecciones de bóvedas que tienen la misma luz, las hiladas se ejecutan simultáneamente en ambos cañones, hasta que se encuentren en la intersección de la crucería, lugar donde se concentran las cargas. La crucería se ejecuta con las primeras piezas en sentido horizontal, que se alternan en cada bóveda y se van endentando con las hiladas inclinadas de la bóveda; este procedimiento se continúa hasta cerrar la crucería de las bóvedas.

En construcciones de dos pisos, se debe ejecutar una cadena perimetral, preferiblemente de hormigón armado arriostrada en el entrepiso, la que absorbe las líneas de presiones de la cubierta; transfiriéndolas a los muros verticales de la planta baja.

3.9 Revoque e impermeabilización exterior de la bóveda

Existen diversas alternativas de revoque e impermeabilización de cubiertas, entre las cuales se puede mencionar las siguientes:

- a) Tradicional con tierra, que consiste en aplicar dos capas de revoque con mortero de barro y paja cortada, elaborado con tierra local cernida; sin embargo estos revoques presentan erosión y demandan un mantenimiento periódico, comúnmente anual
- b) Mejorado con tierra, que consiste en aplicación de tres capas de mortero de barro, utilizando tierra arcillosa, paja y bosta de burro; se recomienda incorporar jugo de penca en caso de que exista localmente
- c) Revoque e impermeabilización con adobitos, que consiste en montar con mortero de barro; una segunda capa de adobitos a 45°, con las caras de mayor área asentadas sobre la bóveda; sobre la que se aplican dos capas de revoque con mortero de barro e impermeabilizantes naturales
- d) Revoque e impermeabilización con paja, que consiste en aplicar franjas de entortado de paja y barro, dispuestas en la dirección de la pendiente
- e) Revoque e impermeabilización con láminas asfálticas, que consiste en aplicar láminas asfálticas suministradas en rollos, asentadas longitudinalmente a la cubierta

En todos los casos, si en el proceso se presentan lluvias o heladas, se recomienda cubrir la cubierta para evitar que el revoque e impermeabilización sea deteriorado.

3.10 Revoque interior y exterior

Los revoques exteriores en muros tienen la función de evitar su erosión, protegerlos de la acción de la lluvia, impedir que la humedad los deteriore y optimizar el aislamiento térmico.

Se recomienda ejecutarlo con materiales de tierra y deben ser aplicados sobre muros secos y estables. Utilizan el mismo tipo de tierra del muro, sólo que deben contener menor porcentaje de arcilla, por lo tanto contener más arena; con lo que se evita su fisuración. Los impermeabilizantes naturales, otorgan al revoque mayor impermeabilidad e incrementan su resistencia a deterioros.

Las pinturas que se han trabajado con buenos resultados sobre muros con materiales de tierra son las siguientes: de cal, de ocre naturales, de penca y látex.

3.11 Cúpulas

Para la construcción de cúpulas autosustentadas, se utilizan adobitos de 25 cm x 15 cm x 6 cm con mortero de barro; principalmente se ejecutan sobre plantas cuadradas y son de dos tipos:

- a) La cúpula sobre trompas, descansa sobre triángulos esféricos que se encuentran en medio de la arista superior de los muros, desde esa altura hasta su conclusión, se la ejecuta con hiladas circulares que van formando anillos de presión. Durante su ejecución se debe tomar la previsión de ejecutar simultáneamente las crucerías con puertas y/o ventanas
- b) La cúpula sobre pechinas, está circunscrita en la base de la cúpula; la transición de la planta cuadrada a la base circular se hace por medio de triángulos esféricos que se encuentran en medio de la arista superior de los muros. Su diámetro es igual a la diagonal del espacio cuadrado que se cubre

Se ejecutan con compás móvil excéntrico, que genera el arco directriz requerido por la cúpula, que requiere un incremento de 20% respecto a la mitad de la diagonal de la planta en cúpulas sobre pechinas y 25% del radio en cúpulas sobre trompas; destinados a neutralizar fuerzas horizontales generadas y acomoda la posición e inclinación de cada pieza.

Tanto en cúpulas sobre trompas, como sobre pechinas, se debe cortar la primera y última pieza de cada hilada para que quede perfectamente encajada y recta, además de obtener la curva perfecta. Se concluye cada hilada circular que forma un anillo de presión, antes de pasar a la siguiente; hasta concluir su ejecución.

En general, las cúpulas sólo resisten su peso propio, más eventuales sobrecargas accidentales, que comparadas con su peso propio, son de pequeña magnitud.

Su comportamiento frente a las sollicitaciones de origen sísmico es bueno; lo crítico no está en la cúpula, sino en los muros que la sostienen, que resultan frágiles frente a las sollicitaciones horizontales.

La distribución de cargas en las cúpulas, no es perfectamente uniforme, varían desde su máximo valor en los arranques a cero en la cúspide; por lo tanto, la directriz apropiada es generada por el eje excéntrico.

3.12 Posibles fallas estructurales

Las posibles fallas estructurales en las construcciones de tierra, son resultado de causas que poco tienen que ver con la calidad del material; usualmente los problemas que se presentan están vinculados al sitio de la construcción, fallas constructivas, deficiencias del diseño y falta de mantenimiento, que se manifiestan con la presencia de fisuras y grietas.

Las fisuras generalmente denotan fallas locales, generalmente son de pequeña magnitud, están espaciadas en forma irregular, tienen direcciones arbitrarias (con más frecuencia vertical) y pueden atribuirse a:

- a) Defectos en la calidad de materiales
- b) Utilización de adobes no totalmente secos
- c) Aplicación de cargas en forma prematura, antes de que haya secado el mortero

Las grietas denotan fallas de comportamiento de la estructura, que indican que la capacidad del material para resistir los esfuerzos ha sido superada y están referidos a:

- a) Excesiva compresión y presencia de cargas concentradas, produciendo punzonamiento
- b) Sollicitaciones anormales debido a vanos de puertas y ventanas mal dispuestos
- c) Falla de ejecución en dinteles, bóvedas, arcos, etc.
- d) Asentamientos irregulares por mal comportamiento de las fundaciones

Las fallas mencionadas, también pueden deberse a:

a) Fallas de diseño, referidas a espesores deficientes, presencia de excentricidades en la aplicación de cargas, inadecuados arriostramientos con otros muros o ausencia de éstos, trabas mal dispuestas, muros con altura excesiva, muros con muchas aperturas, deficiencia de arriostramientos horizontales, ausencia de impermeabilización contra capilaridad, ausencia de juntas entre partes de la construcción cuando existe marcadas diferencias de cargas

b) Fallas de construcción, referidas a mala calidad de materiales, deficiencia del mortero de unión entre adobes, error de verticalidad, mal alineamiento, falta de alineamiento entre muro superior e inferior, error en anclaje de marcos de puertas y ventanas, adelgazamiento de muros para albergar instalaciones, deterioro de revoques producido por agua

3.13 Climatización

El adobe y el aire tienen similar calor específico, pero el adobe tiene una alta densidad, lo que implica mayor capacidad térmica de almacenamiento, constituyéndose en un material térmico apropiado; asimismo, tiene una conductibilidad térmica más baja, por lo que toma más tiempo en calentarse o enfriarse; aspecto fundamental para climatizar una construcción.

a) Energía solar pasiva

De las diferentes posibilidades y técnicas de uso de la radiación solar pasiva para climatizar el interior de una *Lak'a Uta*, se utiliza el concepto sol-masa-espacio; en la que la radiación solar es captada por una pared exterior cuya masa se carga de energía.

La masa de la bóveda y los muros hace el papel de un cuerpo expuesto al sol, en el que la masa térmica constituye el sistema de captación-almacenamiento-restitución de la energía solar; materializado con el muro *trombé*.



Figura 5. Vivienda rural de autoconstrucción con muro *trombé*, Lahuachaca, Bolivia (Crédito: Jakobsen, 1994)

La captación se la realiza, construyendo el muro *trombé* adosado a la bóveda orientada al sol y referida a la latitud y declinación del sol; está constituido por una placa transparente montada sobre un muro pintado de negro, con un espacio de separación que genera la circulación de aire caliente. El almacenamiento se produce a lo largo del día en el conjunto de elementos macizos, cuando el sol desaparece, el muro hace el papel de regulador térmico, restituyendo el calor acumulado durante el día hacia el interior durante la noche.

Se logra un equilibrio térmico en el interior, con tiempo de restitución de la energía de 12 horas con muros de 30 cm de ancho. En su funcionamiento se logra una autonomía que

cubre un periodo de tres días; en el cual, cuando no existe radiación solar, la temperatura interior disminuye de 1°C a 2°C por día.

4. RESULTADOS

Por lo expuesto, las construcciones *Lak'a Uta*:

- a) Son sostenibles con relación al medio ambiente
- b) Son más sanas y económicas que las viviendas tradicionales del Altiplano
- c) Mejoran las condiciones de vida de las familias que las habitan
- d) Dan valor agregado a la tierra, convirtiéndolo en material de construcción
- e) Permiten construir una edificación totalmente con materiales de tierra, en la que no se requiere utilizar madera ni calamina
- f) Utilizan materiales locales, de bajo costo y ecológicos
- g) Tienen un efecto natural de aislamiento y bajos niveles de transmisión de sonidos; constituyéndose en un casco hermético
- h) Son una respuesta apropiada en zonas que presentan fuertes vientos
- i) Son fáciles de construir utilizando herramientas sencillas
- j) Mantienen una temperatura constante durante día y noche; en el que su balance térmico está dentro los márgenes del confort ambiental, tanto en temperatura ambiente (17°C a 25°C), humedad relativa (30% a 70%) y movimiento del aire (0,10 m/seg a 0,25 m/seg)
- k) No requieren cimbras en la ejecución de la cubierta autosustentada
- l) No pueden vivir insectos que portan enfermedades como la vinchuca, debido a la superficie interior de la bóveda, que es lisa
- m) Utilizan intensivamente la mano de obra
- n) Son resistentes al fuego y al viento
- o) Durante su ejecución el consumo energético es mínimo
- p) Se aplican a todo tipo de diseños

Como resultado, en Bolivia se tienen registrados aproximadamente 15.000 m² de construcción.

5. CONCLUSIONES

El uso de la tierra en la construcción, con reglamentación técnica y normas de calidad, contribuirá al mejoramiento de la calidad de vida de las familias que las habitan y de las condiciones financieras para su construcción.

La participación de la comunidad en las construcciones de tierra, permitirá acelerar el proceso de revalorización técnica y de sensibilización de la sociedad con este material.

La educación y capacitación de profesionales, técnicos y albañiles en el diseño y construcción con tierra, permitirá superar el proceso de deterioro tecnológico que sufre.

El concepto es considerado pionero del desarrollo sostenible y fue nominado y registrado como Proyecto Oficial de la Exposición Mundial Hannover 2000, con otros 486 proyectos del mundo; cuyo tema fue Desarrollo Sostenible.



Figura 6. Vivienda urbana, La Paz, Bolivia

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Houben, H.; Guillard, H. (1994). *Earth construction – A comprehensive guide*. London: ITDG Publishing.

Segunda Conferencia de las Naciones Unidas sobre los Asentamientos Humanos. Estambul (Turquía), 1996. Programa Hábitat II. Disponible en <http://habitat.aq.upm.es/aghhab/aproghab.html>. Acceso en 20/5/2011.

AUTORES

Raúl Adolfo Sandoval Tejada, arquitecto; director de Casa de Tierra Bolivia, director del Proyecto de Asentamientos Humanos en Bolivia (DANIDA), representante en Bolivia del Servicio Danés Internacional de Asentamientos Humanos (DIB), contraparte técnica boliviana del Proyecto Piloto Experimental Lak'a Uta (CEPRODES-DIB), director de la Red de Asentamientos Humanos en Bolivia (RAHS).

Juan Pablo Sandoval Calderón, arquitecto junior; investigador de arquitectura en tierra de la Red de Asentamientos Humanos en Bolivia (RAHS), co-autor de la "Especificaciones técnicas Lak'a Uta" inédita, coordinador de investigación Casa de Tierra Bolivia, director de obra construcciones Lak'a Uta Casa de Tierra Bolivia.