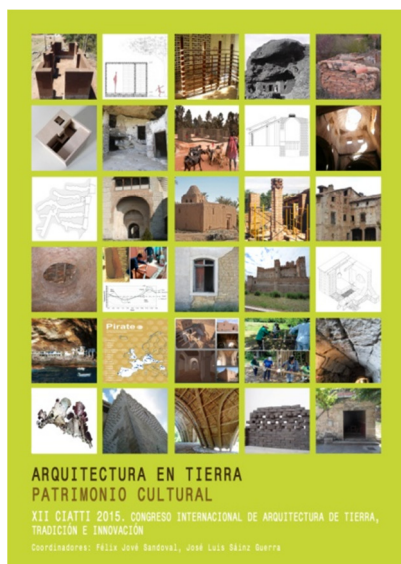




Arquitectura en Tierra

Patrimonio Cultural

XII CIATTI 2015

Congreso de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos 2015.

Coordinadores: Félix Jové Sandoval, José Luis Sáinz Guerra.

ISBN: 978-84-617-4586-9

D.L.: VA 620-2016

Impreso en España

Agosto de 2016

Publicación online.

Para citar este artículo:

HENNEBERG DE LEÓN, Andrea Mara. “Tradición constructiva del bahareque y su resistencia sísmica”. En: *Arquitectura en tierra. Patrimonio Cultural. XII CIATTI. Congreso de arquitectura en tierra en Cuenca de Campos 2015*. [online].

Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2015. Pp. 017-024

URL de la publicación: <http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones.html>

Este artículo sólo puede ser utilizado para la investigación, la docencia y para fines privados de estudio. Cualquier reproducción parcial o total, redistribución, reventa, préstamo o concesión de licencias, la oferta sistemática o distribución en cualquier otra forma a cualquier persona está expresamente prohibida sin previa autorización por escrito del autor. El editor no se hace responsable de ninguna pérdida, acciones, demandas, procedimientos, costes o daños cualesquiera, causados o surgidos directa o indirectamente del uso de este material.

This article may be used for research, teaching and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, re-distribution, re-selling, loan or sub-licensing, systematic supply or distribution in any form to anyone is expressly forbidden. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

Copyright © Todos los derechos reservados

© de los textos: sus autores.

© de las imágenes: sus autores o sus referencias.

TRADICIÓN CONSTRUCTIVA DEL BAHAREQUE Y SU RESISTENCIA SÍSMICA

XII CIATTI 2015. Congreso Internacional de Arquitectura de Tierra
Cuenca de Campos, Valladolid.

*Andrea Mara Henneberg de León. Dra. Arquitecta. Coordinadora
Departamento de Construcción y Tecnología en Arquitectura.
Facultad de Arquitectura y Diseño. Universidad del Zulia.*

PALABRAS CLAVE: arquitectura de tierra de Venezuela, tradición constructiva, sismo-resistencia

1. Introducción

El bahareque, técnica constructiva compuesta por varias columnas de madera a las cuales se les ha colocado varas de forma horizontal y relleno y revocado con barro, se corresponde con la estructura de los entramados (Fig. 1).

Los entramados están constituidos por una armazón o esqueleto estructural, el cual gracias a las diversas piezas longitudinales y verticales que lo conforman, pueden absorber esfuerzos de compresión, tracción y/o flexión, facilitándose la repartición de las cargas. Por esto, los entramados son muy eficientes

estructuralmente, a diferencia de los sistemas de muros portantes que debido a su masa solo absorben bien los esfuerzos a compresión.

Una ventaja tanto constructiva como estructural de los sistemas de adintelados, es su característica de que los tramos tienen independencia unos con otros, por lo que es posible anexar nuevos tramos o eliminar o restaurar los existentes sin afectar los tramos restantes.

Los entramados adintelados de madera rellenos de tierra, como es el caso del bahareque, son más livianos que otras



Figura 1. Armazón del bahareque
Fuente: Henneberg de León (2009)

técnicas de construcción con tierra como la tapia y el adobe, las cuales pertenecen a los sistemas de muros portantes.

Una de las ventajas de estos entramados con tierra en cuanto a su características constructivas y estructurales son: “rapidez de ejecución, adaptabilidad a casos de hábitat provisional, independencia de la estructura que permite: flexibilidad arquitectónica, y protección ya desde su construcción” (Viñuales, 1981, p.21).

Pero también existen una serie de inconvenientes, siendo algunos de ellos: la necesidad de tener suficiente madera para hacer el entramado, el ser vulnerable ante los incendios si no se protege bien la madera, sufrir pudrición al estar en contacto con la humedad, la necesidad de estar recubierto ante la lluvia, y el posible desarrollo de parásitos en sus piezas (Viñuales, 1981).

El sistema estructural que presenta cada edificación tiene la función de resistir los esfuerzos producidos por las diferentes cargas a las que se encuentra sometida: cargas verticales estáticas, cargas verticales dinámicas, cargas horizontales estáticas y cargas horizontales dinámicas.

Sin embargo, los vientos y los sismos, aunque son considerados en los cálculos, son acciones de la naturaleza que no pueden ser controladas por el hombre, por lo que pueden variar de manera considerable y son generalmente las cargas ante las cuales colapsa una edificación. Las fuerzas

horizontales producidas por el sismo, cuando actúan de forma paralela sobre la edificación generan esfuerzos cortantes o de cizallamiento, y cuando actúan de forma perpendicular generan esfuerzos de flexión y de torsión.

2. Recomendaciones para la sismo-resistencia de edificaciones de tierra

A nivel de la respuesta estructural de las construcciones de tierra, es conocido que las estructuras tipo entramado como el bahareque igual que las estructuras de tipo muro portante como las construcciones de adobe y tapia, resisten sin problemas las cargas verticales de forma eficiente. Pero su resistencia ante las cargas horizontales no es siempre eficaz. Incluso, en muchas ocasiones las edificaciones de tierra han sido etiquetadas como estructuras inadecuadas para absorber los movimientos sísmicos, no solo porque la tierra es considerada como un material poco resistente sino porque tiende a deteriorarse ante las acciones del ambiente. Pero el cómo construir edificaciones de tierra en general y evitar al máximo las lesiones por las condiciones climáticas ya ha sido estudiado ampliamente y resuelto: se deben usar revocos para proteger las paredes, usar grandes aleros y construir sólidos cimientos que sobrepasen el nivel del suelo.

Países como Venezuela (Borges, 1992 y Andrade, 1996), Costa Rica (Gutiérrez, 2004), Colombia (Asociación de Ingeniería Sísmica, 2001), Ecuador (Cevallos, 2003) y Brasil (Gomes e Ino, 2003), entre otros, han hecho investigaciones en las cuales han planteado paneles prefabricados de bahareque con una serie de variaciones, como: fijación del enlatado en diferentes direcciones, colocación de diagonales o cruces de San Andrés entre los marcos de los paneles y el diseño de diferentes paneles según su ubicación (paneles ventana, paneles puerta, paneles de esquinas). Con estos paneles prefabricados lo que se ha querido es acrecentar la resistencia del bahareque ante los esfuerzos horizontales y mejorar su sismorresistencia.

Pero los estudios no se han centrado solo en propuestas para mejorar la técnica sino también han abordado el estudio de las variables formales y constructivas más adecuadas para una edificación sismorresistente como: la forma de la edificación, la disposición

de las paredes y las características de las cubiertas. De estos estudios, hechos por PADT-REFORT-JUNAC (1980, 1984), Rubio, (1992), la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2001), Minke (2001) y Gutiérrez (2004), han surgido una serie de recomendaciones tendientes a proporcionar sismorresistencia a las edificaciones hechas de tierra. Algunas de estas recomendaciones son:

- Diseñar con formas regulares tanto en planta como en fachada y prescindir de las formas irregulares.

- Mantener la forma cuadrada o rectangular de los espacios. Una manera de lograr esto, es colocando diagonales en las esquinas para evitar la deformación de la pared. También deben colocarse cuadrales en cada esquina del techo, los cuales deben estar bien unidos a la solera superior y ésta a su vez a la horconadura, para que funcione como rigidizador y no se deformen las soleras. Igual es recomendable el uso de tirantes que ayudarán a mantener la forma paralela de las soleras superiores y también de las paredes.

- Existencia suficiente de paredes y su distribución homogénea y simétrica en la edificación. Cuanto mayor sea la cantidad de paredes, mejor se podrán repartir las cargas, y si estas están dispuestas de forma homogénea y simétrica en ambos ejes se pondrán evitar las fuerzas de torsión que puedan producirse.

- Realizar pocos vanos en las paredes. Debe existir un predominio del lleno sobre el vacío, así habrá más material para resistir los esfuerzos.

- Ligereza en la construcción y reducción de peso. La fuerza de inercia que se produce está en relación directa con la masa del edificio. Mayor peso genera mayores esfuerzos y deformaciones. Además en caso de un colapso, aumentan los posibles daños a personas en casos de paredes muy pesadas.

- Construir buenas fundaciones y

arriostrar muy bien las paredes a ellas.

- Hacer paredes cuya altura no sea ocho veces su espesor, ya que paredes muy esbeltas no son resistentes a las fuerzas perpendiculares.

- Colocación de una solera superior que arriestre las paredes entre ellos, impidiendo que estas paredes se desplomen hacia fuera haciendo colapsar también la cubierta.

- Usar techos livianos y unirlos rígidamente a las paredes. Generalmente el techo oscila a intervalos diferentes que la de las paredes por lo que tiende a separarse de éstas. Una buena unión entre ellos impediría el colapso del techo.

- Realizar techos a cuatro aguas y de pabellón, los cuales trabajan mejor estructuralmente que los de a dos aguas, debido a la presencia en este último de los tímpanos, los cuales tienden a colapsar durante un sismo.

- Unir bien los revocos, o bien al relleno (bahareque) o bien a la pared (adobe y tapia). Se deben utilizar los mismos materiales o en proporciones similares entre el revoco y el material del relleno del bahareque o de los adobes o la tapia, para garantizar la adherencia entre ellos y así evitar el desprendimiento del revoco por efecto de los movimientos laterales del sismo. Los esfuerzos laterales pueden producir cizallamiento separando el revoco, en caso de presentar éste un material diferente.

- Emplear tanto materiales como hacer una construcción de buena calidad.

3. Características estructurales y comportamiento sísmico del bahareque

La existencia de varias columnas y horcones en una misma pared de bahareque, las cuales están unidas a una solera superior, le proporcionan al bahareque la característica estructural de los pórticos múltiples; las cargas se reparten mejor entre ellos.

Un aspecto estructural significativo del



Figura 2. Enlatado fijo a los horcones después de sismo en El Salvador en 2001

Fuente: Japan Society of Civil Engineers –Jsce. (s/f).

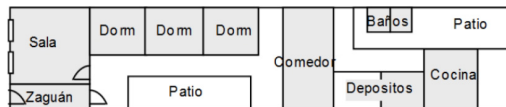


Figura 3. Planta esquemática de vivienda urbana en hilera

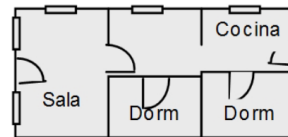


Figura 4. Planta esquemática de vivienda urbana o rural aislada

Fuente: Henneberg de León.

bahareque consiste en que las varas colocadas horizontalmente conformando la estructura auxiliar o el enlatado, por ser de un material con cierta capacidad resistente (caña, ramas, etc.), y al estar fijadas al horcón pasan a constituirse en una 'armadura' de la pared, la cual puede absorber las fuerzas laterales de tracción que son producidas por efecto de un sismo o de vientos fuertes. Las varas mejoran las características a corte y a tracción de la pared. Esta inferencia puede deducirse observando algunos casos de deterioro del bahareque después de un movimiento sísmico, en el cual el enlatado se mantuvo relativamente intacto y unido a los horcones (Fig. 2).

La capacidad de absorber estas fuerzas horizontales aumenta a medida que sea más rígida la unión entre el horcón y la vara. Por lo tanto, las varas clavadas al horcón absorberán mejor los esfuerzos que las varas amarradas, siempre y cuando los clavos no fisuren demasiado a las varas. De esta manera, las varas del enlatado junto al revoco le proporcionan una resistencia adicional al entramado de madera, haciéndolo más rígido en el plano paralelo a su eje.

Las viviendas tradicionales de bahareque se caracterizan por tener una forma rectangular con fachadas principales relativamente angostas (8 – 12 m) en comparación con las fachadas laterales (30 m – 50 m). Esta forma no solo condiciona la disposición de los espacios sino que dichos espacios están resueltos en crujías cuadradas o rectangulares a lo largo de un eje lineal, ubicándose la sala y un

zaguán en la parte anterior y todos los demás espacios en la parte posterior desarrollados en torno a uno o dos patios, formando plantas en C, S o L (Fig. 3). En el caso de las viviendas aisladas, estas presentan forma rectangular con una organización espacial similar a las de las viviendas tradicionales. La sala se encuentra en el frente (no tienen zaguán) y los demás espacios se desarrollan hacia atrás de forma lineal sin patios (Fig. 4).

Las cubiertas utilizadas en los entramados son variadas, pero en las edificaciones tradicionales de tierra en Venezuela, la cubierta más extendida es la de una agua y dos aguas. Para la armadura de dichas cubiertas es utilizada la madera como material predominante, en forma aserrada o rolliza. Los tipos de armaduras que presentan dichas cubiertas son de parhilara, parhilara con tirante y de par y nudillo. Sobre dicha armadura es colocado un encañado y sobre éste las tejas de arcilla cocida. La madera de esta armadura generalmente es liviana siendo el material más pesado las tejas cocidas. En algunas viviendas semi-urbanas y rurales las cubiertas son de láminas de zinc apoyadas directamente sobre los pares. No todas las viviendas presentan el tirante y los cuadrales.

Haciendo una comparación entre estas características formales y constructivas de las edificaciones de bahareque y las recomendaciones para una buena sismorresistencia, es posible determinar las propiedades sismorresistentes y la vulnerabilidad sísmica del bahareque. Las propiedades sismorresistentes del



Figura 5. Grosor de una pared de bahareque de 15 cms

Fuente: Henneberg de León (2005).

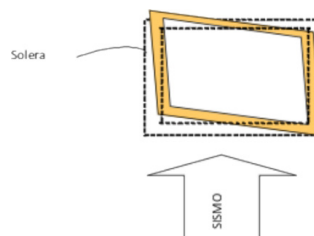


Figura 6. La ausencia de cuadrales deforma la solera y las paredes.

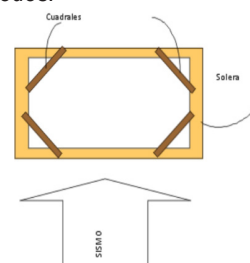


Figura 7. Gracias a los cuadrales se mantiene la forma del espacio.

bahareque se pueden enumerar como sigue:

- Una de las cualidades sismorresistentes que presentan la mayoría de las edificaciones de bahareque en el Estado Zulia, es que la técnica del bahareque no se encuentra combinada con otra técnica constructiva como la de mampostería, tapia o adobe. Diferentes técnicas constructivas con diferentes características de rigidez, de flexibilidad y de sismorresistencia hacen a la edificación más susceptible al colapso ante solicitaciones laterales fuertes.

- No existe discontinuidad en la estructura desde las fundaciones hasta las soleras, ya que la mayoría son de 1 piso.

- La madera usada para los horcones es de la más resistente y dura de la región. Las cañas o ramas usadas para el enlatado también tienen una cierta resistencia para absorber los esfuerzos. Los pórticos con estas maderas ofrecen un buen comportamiento frente a la flexión, ya que pueden deformarse sin colapsar.

- El peso propio de las edificaciones de bahareque es relativamente bajo, no solo por usar materiales más livianos

sino porque las paredes poseen espesores menores (15 cms y 28 cms) que los otros sistemas (Fig. 5).

- Las fachadas laterales cuando están alineadas no poseen vanos y las aisladas no siempre poseen vanos por lo que en cualquier caso, éstas tienen una buena resistencia.

- Para la construcción de las puertas y ventanas, se colocan al lado de cada uno de los vanos un horcón, a manera de jambas, pero de las mismas dimensiones del horcón. Luego el dintel se coloca entre los horcones. En estos casos, las jambas funcionan también como horcones con la misma capacidad resistente que los demás. Así, todos los horcones son estructurales y pueden repartirse mejor las cargas.

El bahareque también posee vulnerabilidad sísmica. Algunas de los aspectos que lo hacen menos resistente son:

- La no existencia de cuadrales o tirantes en la mayoría de las edificaciones (Fig. 6). Ambas piezas son importantes para rigidizar la estructura, evitar la deformación de las paredes y para facilitar la absorción de las cargas (Fig. 7).

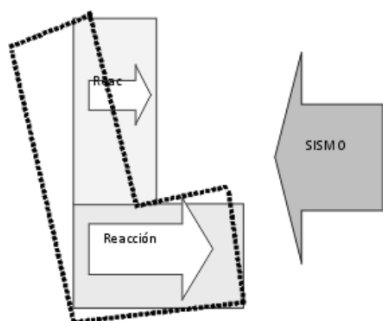


Figura 8. Esfuerzos de torsión por falta de simetría

Fuente: Henneberg de León.

- Falta de simetría en la parte posterior en aquellas viviendas urbanas que se encuentran apareadas, lo que hace al conjunto susceptible a sufrir fuerzas de torsión (Fig. 8).

- Falta de solera inferior que permita arriostrar la pared a las fundaciones y repartir en forma uniforme las cargas al suelo y a las fundaciones.

Para Minke (2001), no es debido al material tierra, que las casas se caen durante un terremoto, sino en la equivocada forma de construir. Esto mismo concluye Altez (2005), el cual manifiesta, tras el estudio que hiciera del terremoto de Caracas de 1812, que los daños de las edificaciones no se corresponden con las clases sociales ni con el sistema estructural, más bien estaban determinados por la calidad de las construcciones.

La insistencia en el uso del bahareque en Venezuela no era solo por lo económico de sus materiales y por el ahorro del tiempo en su construcción sino porque era resistente a los sismos. Calidad avalada por Beroes (1912), en su artículo en la Revista Técnica del Ministerio de Obras Públicas

La comisión encargada de estudiar los daños provocados por el terremoto del Tucuio, Venezuela, en 1950, con grado VIII de la Escala Modificada de Mercalli, concluyó que: "Las paredes de bahareque, aún las de mala construcción, sufrieron daños limitados, hasta cierto punto reparables y en todo caso sin provocar la ruina inmediata" (Olivares, 1997, p.21), a diferencia de los muros de adobe, tapia, mampostería de piedra, ladrillo con o sin vigas de corona que fueron muy dañados.

4. Reflexiones finales

El hecho de que las edificaciones de bahareque hayan sobrevivido con menor daño a varios sismos acaecidos en diferentes países latinoamericanos demuestra cierta resistencia antisísmica gracias a sus características formales y constructivas, la disposición y unión de las diferentes partes que conforman el bahareque y las características de los materiales empleados. Es decir, que los deterioros están en relación directa con el estado de las construcciones y su calidad más que con la técnica constructiva.

Las propiedades sismorresistentes del bahareque superan su vulnerabilidad sísmica, lo cual constituye una de las razones por lo que la técnica del bahareque haya podido perdurar por tanto tiempo.

Bibliografía

- ANDRADE, R. Bahareque. *Guía para la construcción de viviendas. Sistema constructivo E.P.R.T.B.R.Y2*. Fondo Editorial Vivienda Popular. Caracas, 1996. Venezuela.
- ALTEZ, R. (2005). "El terremoto de 1812 en la ciudad de Caracas: Un intento de microzonificación histórica". *Revista Geográfica Venezolana*. Número especial 2005. 171-198. Caracas, 2005. Venezuela
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. *Construcción sismorresistente de viviendas de bahareque encementado*. 2001. Colombia.
Recuperado en agosto de 2015, de www.desenredando.org/public/libros/2001/csr/bvbe/guadua_lared.pdf
- BEROES, A. Memorias y estudios sobre asuntos técnicos nacionales. Las construcciones de bahareque. *Revista Técnica del Ministerio de Obras Públicas*, N° 19, julio de 1912. Caracas, 1912. Venezuela
- BORGES, J. *Manuales de autoconstrucción. 1. Bahareque prefabricado (PS-4)*. Programa Vivienda Rural Viviendas Prototipo para la Zona Montano Frio. Mérida, Venezuela. Convenio de cooperación para la investigación de la vivienda y los asentamientos rurales ULA, MSAS, CONICIT. Mérida, 1992, Venezuela.
- CEVALLOS, P. El bahareque en zonas sísmicas. En *Técnicas Mixtas de Construcción con Tierra*. (pp. 37 – 50). PROTERRA - PROYECTO XIV. 6. HABYTED Subprograma XIV - Tecnología para Viviendas de Interés Social. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Archivo virtual en CD. 2003.
- GOMES, W. e INO, A.. Aspectos constructivos da taipa de mão. En *Técnicas Mixtas de Construcción con Tierra*. (pp. 15 – 36). PROTERRA - PROYECTO XIV. 6. HABYTED Subprograma XIV - Tecnología para Viviendas de Interés Social. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).. Archivo virtual en CD. 2003.

GUTIÉRREZ, J. *Notes on the seismic adequacy of vernacular buildings*. Ponencia presentada en el 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, Canada. August 2004. Paper N° 5011. Vancouver, 2004. Canadá.

Recuperado en agosto de 2015, de
<http://www.curee.org/architecture/docs/13WCEE-GUTIERREZ-5011.pdf>

JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS –JSCE.. *Buildings and Dwellings. The January 13, 2001 Off the Coast of El Salvador Earthquake*.

Recuperado en agosto de 2015, de
http://www.jsce.or.jp/report/11/01/Normal_resolution/Chap3_01.pdf

MINKE, G. *Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra*. 2da edición. Forschungslabor fuer Experimentelles Bauen. Universidad de Kassel. Kassel, 2001, Alemania.

PADT-REFORT, JUNAC. *Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino*. 4ta edición preliminar. Colombia. Editado por Junta del Acuerdo de Cartagena – JUNAC 1984, Colombia.

OLIVARES, A. *Datos históricos sobre las observaciones sismológicas y normas sísmicas en Venezuela hasta 1967*. Caracas, Venezuela: Academia de Ciencias Físicas Matemáticas y Naturales. 8 páginas. Caracas, 1997. Venezuela.

Recuperado en agosto de 2015, de
<http://www.cridlac.org/digitalizacion/pdf/spa/doc9364/doc9364-contenido.pdf>

RUBIO, C. (1992). *Mejoramiento estructural de las técnicas constructivas artesanales de la región de los Andes merideños*. Trabajo de investigación financiado por el Consejo de Desarrollo científico humanístico y tecnológico de la Universidad de los Andes. Mérida, 1992. Venezuela.

VIÑUALES, G. M. (1981). *Restauración de arquitectura de tierra*. Editorial del instituto argentino de investigaciones de historia de la Arquitectura del urbanismo. Universidad Nacional de Tucumán. Tucuman, 1981. Argentina.