

Arquitectura en Tierra:

Tecnología sostenible y reutilización patrimonial

XIV CIATTI 2017 MÉXICO
Congreso Internacional de Arquitectura en Tierra,
Tradición e Innovación

Coordinadores:
José Luis Sáinz Guerra
Félix Jové
Luis Fernando Guerrero Baca

ISBN: 978-84-09-06433-5
D.L.: VA 829-2018
Impreso en España
Noviembre de 2018

Publicación online.

Para citar este artículo:

To cite this article:

TOUS, Victoria; MARÍN, Berta; SANS, Mónica; ALTEMIR, Anna. "Programa *Bhimpedi Awasuka*, viviendas antisísmicas de barro. Nepal, 2015-2017". En: *Arquitectura en tierra. Tecnología sostenible y reutilización patrimonial*. [online]. Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid, Valladolid 2018. Pp. 199-208

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.

PROGRAMA BHIMPHEDI AWASUKA: VIVIENDAS ANTISÍSMICAS DE BARRO. NEPAL, 2015 - 2017

XIV CIATTI 2017. Congreso Internacional de Arquitectura de Tierra, Tradición e Innovación. Ciudad de México

Victoria Tous. Graduada en estudios de arquitectura*
Berta Marín. Arquitecta
Mónica Sans. Arquitecta
Anna Altemir. Arquitecta

Base - A, grupo de cooperación
Universidad Politécnica de Catalunya, España

PALABRAS CLAVE: Vivienda, terremoto, barro

1. Resumen

Bhimphe di Awasuka es un programa para la mejora del hábitat en Nepal. La palabra Awasuka está formada por las iniciales de las palabras nepalíes *Aawaas Sudhar Karyakram*, que significan: Programa de Mejora del Hábitat. Está desarrollado por tres entidades: la ONG Amics del Nepal, la Asociación Base-A y el Centro de Cooperación para el Desarrollo de la Universidad Politécnica de Catalunya. Esta unión de fuerzas se inicia en Julio de 2015, tras los dos terremotos que se sucedieron en el país y que afectaron a más de 6,6

millones de personas. El programa se asienta en el municipio de Bhimpedi, una de las comunidades históricas del distrito de Makwampur, en la región central del país. El municipio se encuentra 60 km al sur de Katmandú, en la zona de montaña mediana o "siwali", una de las más afectadas tras los sismos.

El propósito principal del programa es mejorar el comportamiento sísmico de las viviendas tradicionales de piedra y barro de Nepal, así como también el estudio de otras técnicas



Figura 3. Ejemplo de vivienda tradicional rural con detalles sismorresistentes, algunos de los cuales han sido ejecutados de forma deficiente. Julio de 2015. Fotografía: Equipo Awasuka.

La característica antisísmica más interesante de estos edificios, es la presencia de bandas horizontales de madera que atan los muros perimetralmente, ligándolos y así evitando que se debiliten por el movimiento anárquico de un sismo. La estructura interna se resuelve con pilares de madera alineados, que a veces también se encuentran sustituyendo la pared exterior de la planta baja (*buitala*), para permitir el uso de comercio.

En los mejores ejemplos de esta tipología, la estructura de madera cuenta con una serie de detalles de unión que mejoran substancialmente el rendimiento sísmico de la estructura en general. Estas características están mejor preservadas en los ejemplos más antiguos, pero en la actualidad, están siendo alterados por el uso de los materiales y técnicas occidentales.

2.2. Caracterización de la vivienda tradicional rural – *Dhunga Mato*

Bhimphedi es un municipio de 6.000 habitantes (censo del 2011 y organización geopolítica anterior al 2016) localizado en la zona de montaña mediana a una altitud de 1150 metros, a 60 km al sur de Katmandu. Al igual que el resto de poblaciones rurales de Nepal, el municipio lo conforman comunidades dispersas llamadas *wards*. A excepción de

la capital del municipio, la mayoría de *wards* cuentan con un difícil acceso rodado, y a algunos tan solo se puede llegar caminando. Dentro de los propios *wards*, las casas se encuentran alejadas las unas de las otras. Esto se debe a que todas cuentan con grandes zonas de cultivo para su propio consumo o para la venta.

Debido a esta difícil accesibilidad, los materiales utilizados para la construcción son la piedra y el barro (*Dhunga-Mato*), a diferencia de la arquitectura newar que utilizaba mampostería de adobe o ladrillo. Las viviendas poseen una forma simple que parte de un espacio básico rectangular conformado por el muro perimetral y una estructura interior de madera que divide este espacio en 6 u 8 espacios indiferenciados que se repiten en una segunda planta y, a veces, una tercera. Este espacio básico puede crecer transversalmente con porches, galerías o añadidos complementarios a la vivienda. El resultado es un módulo donde cabe cualquier programa rural en libertad, y que puede combinarse de múltiples maneras en función de la situación concreta de la familia que la habita.

En la Figura 2 puede observarse la versatilidad de esta configuración básica de 6 espacios indiferenciados. En la versión 2.a encontramos una planta baja diáfana con acceso por



Figura 4. a) Detalle de la construcción del muro en la arquitectura tradicional rural. Technical guide for master trainers CRATERRA. b) Ejemplo de varias situaciones de grietas o colapso del muro. Julio de 2015. Fotografía: Equipo Awasuku.

la fachada principal, y una galería en la planta superior que hace de porche. Esta segunda planta da lugar a 4 habitaciones del mismo tamaño y una estancia central. Una pequeña construcción se anexiona en el testero para albergar la cocina. En la versión 2.b el acceso principal a la vivienda es por la planta superior, donde encontramos un pequeño recibidor que da acceso a 3 habitaciones. A la planta baja se accede por la fachada trasera. Un volumen anexo sirve para guardar la búfala.

El espesor los muros varía entre 40 y 60 cm. La cimentación es también de piedra y barro. Los acabados de los forjados son de tierra sobre tabla y las particiones interiores de tierra armada. La cubierta, en general, es de chapa de acero.

En muchas edificaciones existen detalles sísmorresistentes de madera, como las ventanas doble-enmarcadas y las bandas horizontales, ambas herencia de la tradición Newar. Estos detalles por lo general se encuentran en malas condiciones, o bien porque se han eliminado algunas de las piezas (falta de concienciación sobre su utilidad); o bien porque no se han ejecutado correctamente (falta de capacitación técnica). En la Figura 3 se observan las bandas de madera que rodean el muro, los cuales sirven para evitar las grietas a 45° y el desprendimiento. Sin embargo, algunos de los cinturones no llegan a cerrarse completamente o no están bien atados entre sí, generando zonas débiles susceptibles de colapsar (Fig. 4b).

3. Principales lesiones de la vivienda tradicional rural tras el terremoto

En las construcciones rurales, el muro de piedra y barro está formado por dos capas diferenciadas (exterior e interior) de piedra aglutinada con barro; y un relleno de piedras de menor tamaño con barro. Ambas capas no tienen traba, lo que supone una falta de cohesión (Fig. 4a). Este tipo de muro tiende a dividirse en dos, separándose las capas exterior e interior cuando se produce cualquier esfuerzo longitudinal o transversal, y provocando el colapso de la capa exterior, debilitando el muro, pudiendo producir también el colapso de la capa interior debilitada. El movimiento del sismo, además, produce dos tipos de grietas en el muro: grietas verticales en las esquinas, causadas por la rotura de la unión de los dos muros y grietas a 45° grados, producidas por el movimiento longitudinal del muro (Fig. 4b).

En cuanto a la estructura interior de madera, el mal comportamiento de la mutua relación de estos elementos (muro y estructura) ha sido el causante principal del colapso de las viviendas. El terremoto tiene un movimiento anárquico en todas direcciones, pero se transforma en un movimiento de dirección coincidente con los elementos construidos. En el caso de la estructura interior de madera se produce un movimiento longitudinal que supone un golpeo y un estiramiento violento y continuo entre la estructura y el muro durante el tiempo del terremoto (Fig. 5a).

Si el pórtico que forma la estructura no es rígido (no está triangulado) el movimiento es mayor y la estructura de madera, en lugar de contener al muro, actúa como ariete y produce su colapso. Esto se agrava con la habitual desaparición de los pilares de madera en las plantas superiores, potenciando el efecto de ariete; y por el gran peso que supone para la edificación el testero de piedra de la última planta (*buikal*). Esta es la razón de la gran cantidad de testeros rotos, colapsados

4. Estrategias sismorresistentes – conceptualización

Existen dos formas de abordar la sismorresistencia en las edificaciones: la estrategia palmera (flexibilidad) y la estrategia paquete (monolitismo). En cuanto a la primera, se trata de estructuras flexibles, que admiten cierto grado de deformación, que puedan vibrar e incluso desplazarse ligeramente. Ejemplos de esta estrategia son el bahareque o quinchá, que por la ductilidad de sus estructuras de madera permiten que el edificio se balancee sin llegar a derrumbarse.

Otro ejemplo de esta estrategia es la vivienda vernácula de adobe de las faldas del Popocatepetl (México), la cual incorpora todo un sistema de cubiertas que funciona de manera flexible; es decir, los elementos se encuentran simplemente apoyados, por lo que se pueden mover con cierta libertad dentro del conjunto. Este hecho y el mecanismo de fricción entre las tejas, la estructura de madera y los adobes, funcionan como un mecanismo de disipación de la energía.

El segundo sistema, la estrategia paquete, se basa en el principio opuesto: la búsqueda de la compacidad y la cohesión de todos los elementos, de tal forma que una serie de bandas garantizan que la estructura está funcionando como un todo homogéneo.

Este sistema es el que ha prevalecido y se ha potenciado tanto por el gobierno, como por el programa Awasuka, como por otras organizaciones en Nepal tras el sismo, por dos razones: en primer lugar, la vivienda tradicional utiliza la piedra además del barro y la madera, elemento que difícilmente puede aportar flexibilidad. En segundo lugar, la tradición arquitectónica newar ya enfoca los planteamientos sismorresistentes en esta dirección, y por lo tanto ya se encuentran algunos restos de es-

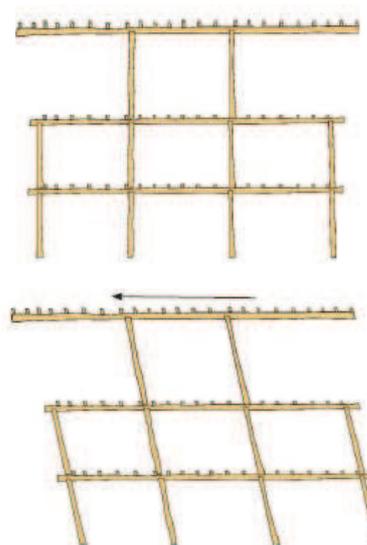


Figura 5. a) Esquema de la estructura interior de madera y del efecto ariete, Technical guide for master trainers CRATERRA. b) Ejemplo de la situación en la que el empuje de la viga central ha colapsado el testero. Julio de 2015. Fotografías: Equipo Awasuka.

tas técnicas en las zonas rurales, con lo que resulta más sencillo realizar una transferencia tecnológica a la población.

5. Programa AWASUKA

5.1. Metodología y premisas principales

A la hora de diseñar la casa sismorresistente, la premisa fundamental de Awasuka es mantener la tradición arquitectónica rural, de tal forma que las personas de estas zonas aisladas no dependan de materiales que les es muy complicado encontrar y traer hasta sus casas. El objetivo es pues, con piedra, barro y madera, introducir las mejoras mínimas y necesarias para convertir su vivienda tradicional en una casa segura que no colapse ante un terremoto. Para la distribución de la vivienda, se proyectan espacios con uso indefinido, que

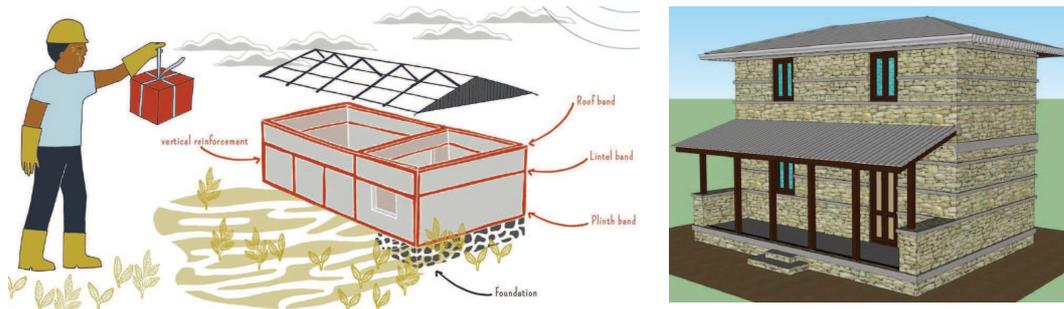


Figura 6. a) Esquema de la estrategia paquete, *Manual for post-earthquake rebuilding in Nepal valleys*. b) Aplicación de la estrategia a la vivienda tradicional rural en piedra y bandas de hormigón, prototipo diseñado por el gobierno. Fuente: *Design catalogue for reconstruction of earthquake resistant houses*, Government of Nepal.



Figura 7. Estudio de distintos materiales de refuerzo. Fuente: Pontificia Universidad Católica de Perú. *Informes de la Construcción*.

al igual que en su tipología tradicional, son capaces de adaptarse a las necesidades cambiantes de la estructura familiar. Para esto, se diseña un módulo estándar y sus posibles crecimientos. De esta manera, no se diseña un edificio, sino un sistema.

El tercer aspecto fundamental es entender el programa desde la transferencia tecnológica y no desde el asistencialismo. En esta línea se proyecta la construcción de un prototipo en el centro del municipio, que puede visitarse en cualquier momento, y que sirve de catálogo de técnicas sismorresistentes. Para la construcción del prototipo se complementa el trabajo de paletas experimentados de zonas vecinas con el trabajo de personas ajenas al mundo de la construcción cuyas casas están dañadas o han colapsado. De esta forma la construcción del prototipo sirve como método de capacitación para las familias.

Este prototipo sirve como método de ensayo y error, y tras su construcción se seleccionan 10 casas de algunas de las comunidades dispersas para seguir reproduciendo la metodología.

5.2. Estructura. Estrategias sismorresistentes en madera.

Para diseñar las soluciones que se aplicarían en el prototipo se usaron tres tipos de fuentes de información: en primer lugar, el análisis de la arquitectura vernácula (arquitectura Newar rural) que ya contaba con detalles para la mejora del comportamiento sísmico; en segundo lugar, el estudio de la norma Nepalí (código técnico de la edificación del país) que ya incorporaba también parámetros anti-sísmicos para estructuras de mampostería de piedra y barro, y que se complementó con la creación del *Design Catalogue for Reconstruction of Earthquake Resistant Houses*; finalmente, el estudio de ensayos y pruebas realizadas por diversas universidades de América Latina, y los resultados que de ellas se derivaban.

Es un ejemplo el estudio que se realizó en la Pontificia Universidad Católica del Perú entre 1973 y 1978. Se utilizó una plataforma inclinable para ensayar estáticamente módulos de vivienda a escala natural y probar distintos materiales de refuerzo, como caña, madera y alambre. El refuerzo más eficiente fue logrado



Figura 8. a) Bandas horizontales, b) Diagonales de los forjados y viguetas pasantes, c) Módulos de rigidización de los pilares. 2017. Fotografía: Equipo Awasuka.

mediante la colocación de cañas en el interior de los muros, que mejoraron la resistencia y la capacidad de deformación de los módulos de adobe ensayados (Fig. 7). Otro ejemplo es el Proyecto Taishin de la Universidad de El Salvador, que aplica a unos muros de adobe mejorado el mismo sistema de cañas interiores, y tras testarlo sobre mesas de carga logra resultados similares.

Tanto la tradición Newar, como la norma nepalí, como estos estudios coinciden de forma mayoritaria en las soluciones a adoptar.

Para el prototipo se sigue una combinación de los detalles de las tres fuentes de información, teniendo en cuenta la doble estructura que conforma la vivienda tradicional (perímetro de estructura muraria en piedra y barro y subestructura interior en madera).

Para el muro perimetral, se realiza el refuerzo y atado mediante las bandas horizontales de madera, compuestas por listones longitudinales y transversales clavados en forma de escalera de gato, abarcando el grosor total del muro (Fig. 8a). Los listones longitudinales actúan como zunchos y contribuyen a frenar

las grietas a 45°. Los listones transversales, clavados encima de los longitudinales, son elementos pasantes que evitan que ambas caras del muro se separen. Cuando estas bandas horizontales llegan a la altura de forjado, la función de listones transversales la hacen las propias viguetas (Fig. 8b). Estas coronas se repiten cada máximo 1 metro y aparecen siempre a la altura de los dinteles. Las esquinas se refuerzan con triangulaciones y todas las oberturas se cierran con doble marco interior y exterior.

En cuanto al cálculo estructural sobre la estabilidad de estas construcciones newar, S. Tonna ed altri (2016) generaron un modelo de elementos finitos que representaba una casa típicamente newar con los detalles de madera principales: bandas horizontales en muros, aberturas doblemente enmarcadas y estructura de techo de pares y correas. De los resultados obtenidos se concluyó que la simetría de la planta y el diseño de las conexiones del techo contribuyen mucho a la estabilidad del conjunto. Y en cuanto a la rigidez del conjunto, esta se consigue con la doble presencia de bandas horizontales y de aberturas enmarcadas en ambas caras.



Figura 9. a) Mampostería de piedra careada y mortero de barro. b) Tests para determinar proporciones adecuadas para el mortero. c) Revoco de arcilla con excrementos de vaca y búfala. 2016 - 2017. Fotografía: Equipo Awasuka.

Además, como mejora antisísmica introducida por Awasuka, en el prototipo, los pilares de la estructura de interior de madera se rigidizan con triangulaciones en las dos direcciones mediante módulos de madera prefabricados (Fig. 8c). La geometría de estas piezas está pensada para que su colocación permita la rigidez de los pilares en ambas direcciones, así como el arriostramiento de las vigas principales: evitándose así el efecto ariete. Una vez colocadas las vigas secundarias, apoyadas sobre muro y viga principal, estas se atan mediante una serie de piezas diagonales (Fig. 8b). Lo mismo sucede con el plano de cubierta. Esta operación evita que durante un sismo se produzcan grietas verticales en las esquinas, ya que ambos muros están trabajando conjuntamente.

5.3. Construcción. Piedra y barro.

En el caso de la vivienda tradicional rural, los muros se conforman mediante mampostería de piedra careada. El barro (con los aditivos) se utiliza como aglutinante de esta estructura. Dada la falta de medios en el entorno rural, los procesos de mezcla y fabricación se realizan de manera manual. Para la cimentación, se utiliza también este sistema (Fig. 9a).

El mortero de tierra tiene riesgo de erosionarse a menos que el diseño cuente con las precauciones necesarias para reducir la exposición a la lluvia y a la humedad. En el caso del *Dhunga-mato*, se tomaron varias precauciones al respecto: a) el muro se eleva sobre el plano de terreno unos centímetros gracias

a la incorporación de una viga riostra de hormigón armado que, aparte de atar el conjunto, hace de barrera contra el agua; b) la cubierta vuela unos 50 cm con respecto al plano de fachada para proteger al barro de la lluvia directa; c) se utilizó tierra estabilizada con un 5% de cemento, para reducir la reversibilidad de su cohesión y el cambio de volumen debido a la humedad.

Se hicieron diversos tests para establecer la mejor proporción de arcilla y arena para el mortero (Fig. 9b). En nuestro caso, la consulta con CRATerre fue determinante ya que confirmó que la arcilla de Nepal es de máxima calidad y de suficiente capacidad resistente, con lo cual, no necesita ninguna adición de arena. Los tests que se realizaron fueron: de granulometría (prueba de la botella), elasticidad (prueba de churro) y de resistencia (prueba de disco, prueba de corte, prueba de caída).

Tras la construcción de los muros de tierra y barro, se pasó a revocar las paredes con otro tipo de mortero de barro. Siguiendo la tradición constructiva local, a la tierra usada como rebozo se añadieron trozos de paja y excrementos de vaca y búfala (*ghobar*). Estos aditivos, por sus cualidades aislantes, protegen al muro del sol y del agua, hacen que el revestimiento no se agriete y además, repelen la mayoría de los insectos.

El excelente comportamiento del revoco de *ghobar* hizo replantearse si la adición del 5% de cemento en el mortero aglutinante era



Figura 10. Prototipo terminado, 2017. Fotografía: Equipo Awasuka.

aun necesaria. La principal razón para añadir cemento era mejorar el comportamiento del muro frente a la humedad; pero éste ya queda solucionado con el revoco. Y en cuanto al segundo motivo, la mejora de la capacidad portante, como ésta recae casi totalmente en la piedra, añadir un 5% de cemento en el aglomerante repercute muy poco en su mejora estructural. Con lo cual, al final se concluyó no seguir añadiendo el 5% de cemento, ya que además de finalmente no contribuir en las mejoras frente a la humedad, supone también un encarecimiento del coste de la vivienda. Por este motivo, parece que la opción de revoco es la más apropiada (Fig. 9c).

Para las divisiones interiores, tradicionalmente se utiliza la técnica de tierra armada, que consiste en realizar una subestructura de bambú o madera, que posteriormente se recubre con tierra. A la hora de realizar los pavimentos, una estructura de tablas de madera apoyada sobre el forjado hace de soporte para el recubrimiento de tierra. Conviene añadir que en los prototipos de rehabilitación y readaptación de estructuras existentes, también desarrollados por Awasuka, se opta por eliminar dicho recubrimiento, ya que aporta excesivo peso en las plantas superiores y hace a los edificios más vulnerables a sismo.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de todos los cooperantes voluntarios, las coordinadoras y el asesor; el apoyo de la Universidad Politécnica de Cataluña y del Centro de Cooperación para el Desarrollo, y la implicación y dedicación de los distintos financiadores que confían en nosotros y nos apoyan para poder continuar. A todos ellos, nuestro más sincero agradecimiento.

Coordinación:

Directora de Programa: Mònica Sans, Arquitecta i Músico - Amics del Nepal
 Coordinadora Técnica: Berta Marín, Arquitecta - base-A / Anna Altemir Arquitecta - base-A (mayo 2015 - enero 2016)

Asesor Experto: Pedro Lorenzo, Doctor Arquitecto - CCD-UPC

Equipo técnico:

Arquitectura: Adrian Álvarez, Irina Berdonces, Valèria Cid, Alba Corbella, Martí Domènech, Àlex Espina, Emma Ferrer, Nerea Gezuraga, Diego Guerra, Marta Guilera, Àngel Joaniquet, Andrea Llanas, Andreu Llull, Andrea Martín, Arnau Montoya, José Carlos Sánchez, Marc Socías, Victoria Solina, Victoria Tous, Irene Vidal, Mikel Zubiaga.

Topografía: Marc Crespo.

Bibliografía

- Associació Base-A. (s.f.). *http://base-a-org.blogspot.com/search/label/Bhimphedi*. Obtenido de base -A, al voltant d'una arquitectura necessària i responsable.
- Association Française du Génie Parasismique (AFPS). (s.f.). *Manual for post-earthquake rebuilding in Nepalese valleys*.
- Baca, L. F. (2014). Cualidades sismoresistentes de la vivienda de adobe en las faldas del volcán Popocatepetl. En L. F. Baca, *Reutilización del patrimonio edificado en adobe*.
- Blondet, M., & J. Vargas, N. T. (2011). Construcción sismorresistente en tierra: la gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica del Perú. *Informes de la Construcción*.
- CRATERE. (s.f.). *Technical guide for master trainers: Earthquake resistant buildings using local materials in Dolakha, Ramechhap and Sindhuli - Nepal*.
- Dina D'Ayala, S. S. (2003). *HOUSING REPORT Traditional Nawari house in Kathmandu Valley*. Earthquake Engineering Research Institute (EERI), International Association for Earthquake Engineering (IAEE).
- Government of Nepal, Ministry of Physical Planning and Works. (1994). *Nepal National Building Code*.
- Lorenzo, P., & Sans, M. (2015). *Informe Nepal 07/2015 Viaje de Identificación*. Barcelona.
- Minke, G. (2001). *Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra*. Alemania: Universidad de Kassel.
- Nepal Housing Reconstruction Programme, Government of Nepal. (2015). *Design catalogue for reconstruction of earthquake resistant houses*.
- Practical Action. (s.f.). *Technology challenging poverty: Clay as a binder*.

Citas y notas

* **Victoria Tous**, graduada en estudios de arquitectura, becaria del departamento de cooperación internacional para el desarrollo de la UPC, y colaboradora del programa Awasuka desde 2015.

Berta Marín, arquitecta por la UPC, profesora invitada en el Máster de Desarrollo Urbano y Territorial de la UPC, máster en formación de profesorado, y coordinadora de proyectos de Base-A y del proyecto Awasuka desde 2015.

Mónica Sans, arquitecta por la UPC y músico, profesora invitada en el Máster de Desarrollo Urbano y Territorial de la UPC, coordinadora de proyectos de la ONG Amics del Nepal desde 2013, y coordinadora del proyecto Awasuka desde 2015

Anna Altemir, arquitecta por la UPC, profesora invitada del máster de Bioconstrucción de la Universitat de Girona, cofundadora de base-A y coordinadora de proyectos de Base-A desde 2011.