

LA INTERVENCIÓN DEL PATRIMONIO EDIFICADO EN TIERRA EN ÁREAS SÍSMICAS Y LAS CARTAS DE CONSERVACIÓN

Julio Vargas Neumann* (Peru)

Pontificia Universidad Católica del Perú. PUCP

Marcial Blondet** (Peru)

Pontificia Universidad Católica del Perú. PUCP

Carlos Iwaki*** (Peru)

Pontificia Universidad Católica del Perú. PUCP

RESUMEN

Los sismos son fenómenos naturales recurrentes que causan daños acumulativos o el colapso de las edificaciones de tierra. En Perú se han descubierto muchas edificaciones construidas en tierra de importante valor patrimonial, que fueron desenterradas y expuestas nuevamente a la actividad sísmica ¿Cómo evitar su progresivo daño mediante sabias intervenciones?

Las edificaciones de tierra ubicadas en áreas sísmicas constituyen un caso crítico y único por su paulatina destrucción. La respuesta estructural de la mampostería de piedra asentada con morteros de barro depende del más débil de los materiales de construcción que es la tierra.

Se presentan los criterios estructurales de conservación de la arquitectura patrimonial construida en tierra y el uso de herramientas sismorresistentes de reparación y refuerzo desarrolladas por la academia en los últimos 25 años. Se incluyen los conceptos de tierra armada y de inyección de barro líquido desarrollados en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) con el apoyo de la Getty Conservation Institute (GCI).

Se analizan casos recientes de re-intervención de monumentos reparados inicialmente el siglo pasado y re-destruidos por sismos recientes, y se presentan soluciones que van desde las más prudentes hasta las más agresivas. Se concluye en la urgencia de revisar los criterios de conservación expresados en las Cartas Internacionales adoptadas por ICOMOS y UNESCO para el caso de la arquitectura patrimonial en tierra ubicada en áreas sísmicas.

Palabras clave: Arquitectura en tierra, Terremotos, Cartas de Conservación.

*jhvargas@pucp.edu.pe

**mblondet@pucp.edu.pe

***ciwaki@pucp.edu.pe

1. DESTRUCCIÓN DEL PATRIMONIO DE TIERRA EN ÁREAS SÍSMICAS

Es evidente que la destrucción sísmica de la herencia patrimonial es mayor en las obras edificadas en tierra o piedra asentada con barro, en comparación con las construidas de cualquier otro material. Para evitar esta pérdida patrimonial, tres hechos son destacables:

- El carácter único de las construcciones de tierra o de piedra asentada con barro, por su debilidad y vulnerabilidad frente a los terremotos.
- La perversa coincidencia en el mundo, entre las áreas de ubicación de las obras monumentales de tierra y las zonas de fuerte actividad sísmica.
- La orientación técnica que las Cartas de Conservación adoptadas por ICOMOS ofrecen sobre la intervención del patrimonio edificado ubicado en áreas de actividad sísmica y en especial el caso único de la construcción en tierra o piedra con tierra.

1.1 Vulnerabilidad sísmica del patrimonio en tierra o piedra con tierra

Las construcciones de tierra o de piedra asentada con barro tienen una resistencia a tracción muy baja, por lo que las fuerzas sísmicas ocasionan en ellas fisuras o colapsos. Por ello, la arquitectura patrimonial en tierra se encuentra más dañada que la de cualquier otro material.

Como un ejemplo del inmenso patrimonio en tierra perdido a lo largo de los siglos por la destrucción de los terremotos, la Fig. 1 presenta una valiosa fotografía del Acllawasi, parte del complejo monumental de Pachacamac, ubicado cerca de Lima. Se aprecia parte de lo poco que queda en

pie del Acllawasi (construido alrededor del Siglo XII) y la enorme destrucción sísmica que sufrió este gran templo Inca de las doncellas, construido en tierra, con algunas bases, gradas y pozos de agua (puquios) de piedra.

El Acllawasi fue completamente reconstruido por Tello de 1941 a 1945. Los recurrentes sismos de 1966, 1970, 1974 y 2007 lo volvieron a destruir dramáticamente y hoy está clausurado debido a la falta de seguridad de los visitantes.

Ensayos de laboratorio muestran que la albañilería de adobe resiste alrededor de 10 veces menos que la de ladrillo (según cifras del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú). El reciente sismo de Pisco, corroboró la vulnerabilidad de las obras de tierra, comparadas a las de otros materiales (Blondet et al., 2007).

La enorme intensidad de las fuerzas sísmicas es capaz de modificar la geometría de la corteza terrestre y con mayor razón colapsar las vulnerables obras fabricadas con piedra o tierra, materiales utilizados en la grandiosa época prehispánica. Valiosos monumentos como Caral, Huaca de la Luna, Chan Chan, Paramonga, o Pachacamac en el Perú, o como Paquimé, el Zapotal, la Joya, Teotihuacan, Cacaxtla, Tula, Tizatlán, y Cholula en México están en grave riesgo sísmico.

1.2 Coincidencia entre las zonas de construcción en tierra y las de actividad sísmica

El problema de la mayor ocurrencia de daños en las construcciones monumentales de tierra se agudiza por la perversa



Fig. 1. Pachacamac, Perú. Templo de la Luna. Vista de detalle de tres nichos. 1941. (Crédito: Archivo del investigador Julio C. Tello. Universidad Mayor de San Marcos)

coincidencia entre la ubicación de las obras monumentales de tierra y la actividad sísmica mundial. La Fig. 2 ilustra esta coincidencia en las costas occidentales y montañas americanas ubicadas en el cinturón circumpacífico, que disipa alrededor del 90 % de la energía sísmica

críticos como la tierra: “1.7 No deben emprenderse actuaciones sin sopesar antes sus posibles beneficios y perjuicios sobre el patrimonio arquitectónico, **excepto** cuando se requieran **medidas urgentes** de protección para **evitar la ruina inminente de las estructuras** (por ejemplo, tras los daños

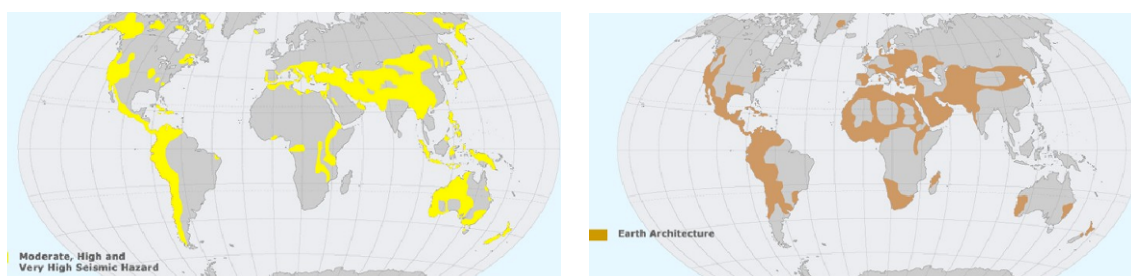


Fig. 2. Yuxtaposición de los mapas de geografía sísmica y zonas de construcción en tierra. (Crédito: De Sensi, 2003)

mundial. También en el mediterráneo y medio oriente ubicados en el cinturón euroasiático.

1.3 Las Cartas de Conservación no distinguen el tratamiento de intervención que requiere el patrimonio cultural en zonas de alta actividad sísmica

Las Cartas de Conservación adoptadas por ICOMOS carecen de orientación técnica sobre la intervención del patrimonio edificado ubicado en áreas de actividad sísmica y en especial el caso único de la construcción en tierra o piedra con tierra. Los principios y recomendaciones universales no distinguen la intervención patrimonial entre los casos de monumentos sujetos a la actividad sísmica, y los casos en los que los monumentos no sufren estos embates. La velocidad y dramatismo del daño patrimonial en zonas sísmicas es muy diferente al de las áreas sin actividad sísmica. Este hecho limita la creatividad que requieren las soluciones y el empleo de refuerzos sismorresistentes, bajo principios de mínima intervención y reversibilidad.

Solo la Carta de Zimbabwe, 2003 (<http://www.international.icomos.org/charters>) menciona tangencialmente la ocurrencia periódica de grandes sismos sin comprender ni mencionar el riesgo acumulativo de la destrucción patrimonial en materiales

causados por un seísmo); no obstante, se tratará de evitar que tales medidas urgentes produzcan una modificación irreversible de las estructuras". No queda claro en este enunciado, si las **medidas urgentes** son parte de una intervención de emergencia inmediatamente después de un temblor, como podría ser un apuntalamiento parcial o total, o si se trata de reforzamientos permanentes que sean reversibles, como en esta ponencia se pretende sugerir.

Ninguna Carta Internacional adoptada por ICOMOS ha distinguido la ubicación sísmica para abrir la posibilidad de diferenciar el tratamiento de la intervención respecto a las áreas no sísmicas. A esto se aspira. Se requiere trabajar en nuevos aportes de soluciones con refuerzo permanentes (no solo de emergencia) estructuralmente eficientes para conceder estabilidad y seguridad a los ocupantes y visitantes.

A raíz de opiniones del Comité Científico internacional de ICOMOS/UNESCO acerca del Cambio Climático y la posibilidad que el Cambio Tecnológico ayude a encontrar soluciones (simposios de Pretoria 2007, Nueva Delhi 2007 y Québec 2009), debe incluirse la misma preocupación, precaución y previsión para los Desastres Naturales, como son los Terremotos recurrentes en áreas sísmicas.

2. MEDIDAS LOCALES DE CONSERVACIÓN EN PAÍSES CON ACTIVIDAD SÍSMICA

La Carta de Venecia (1964-65) indica:

"... es esencial que los principios que dirigen la conservación y la restauración de los monumentos sean consensuados y formulados en una dimensión internacional, siendo cada nación responsable de aplicar una planificación dentro del marco de su propia cultura y sus tradiciones".

La salvaguardia del patrimonio cultural construido en tierra o en piedra con barro debe considerar la ecología, geografía, historia, tradición, experiencia de observación de daños y actividad sísmica local. En el Perú, por ejemplo, está en revisión la norma peruana NTE E.080 Adobe, que pretende convertirse en una moderna herramienta de construcción y conservación de la arquitectura de tierra, con un capítulo de guías para la conservación patrimonial. Para ello, el organismo estatal encargado de la revisión de la norma (SENCICO/ Ministerio de Vivienda), está en conversaciones con la Getty Conservación Institute (GCI). También nuestro comité normativo, está en contacto con el comité responsable de crear una norma de conservación patrimonial de estructuras de tierra y piedra en Chile, para compartir esfuerzos y experiencias.

3. CRITERIOS DE DISEÑO EXISTENTES PARA CONSERVAR LAS CONSTRUCCIONES DE TIERRA EN ÁREAS SÍSMICAS

Las estructuras de tierra que han logrado perdurar en zonas sísmicas son de arquitectura masiva, constituida por muros anchos como elementos resistentes al peso vertical y a las fuerzas sísmicas. Aquellas obras que poseen grandes ventanas, columnas, arcos, techos abovedados y minaretes resultan muy vulnerables.

El daño estructural que produce la ocurrencia sísmica periódica en las obras de valor patrimonial es acumulativo. Cada terremoto empeora la estabilidad estructural global que debilitó el anterior. En este proceso se produce agrietamientos

en los elementos estructurales; las fisuras crecen, se abren y se multiplican. Las secciones de muros entre fisuras son cada vez más numerosos y menos estables: los muros y estructuras dejan de ser monolíticos. En un lapso medianamente largo, los terremotos terminan por hacer colapsar las estructuras y esto significa la pérdida del patrimonio.

En el caso específico de las construcciones con materiales de tierra o piedra con barro, en virtud de su mayor debilidad, el proceso de destrucción es bastante más rápido y por tanto la intervención es mucho más urgente y complicada. En estas obras los muros son los elementos estructurales principales y la estabilidad de los muros es indispensable para la estabilidad global.

Existen hasta tres criterios diferentes para el diseño de intervenciones en construcciones de valor histórico en base a tierra. Cada uno apunta a objetivos basados en filosofías de diseño, diferentes:

- a. El criterio más antiguo está basado en aumentar la resistencia de los elementos estructurales (los muros), para prevenir que se produzcan fisuras. Ejemplos de aplicación de este criterio son aumentar el espesor de los muros, construir contrafuertes, o reconstruir parcial o totalmente un muro dañado. Este criterio no es adecuado en áreas donde ocurren terremotos.
- b. Un criterio relativamente moderno está basado en mantener la estabilidad global de la estructura. Se trata de controlar el agrietamiento y separación de los elementos estructurales después de producida la fisuración sísmica, mediante la colocación de refuerzos resistentes a fuerzas de tracción. Un buen diseño debe añadir además capacidad de deformación a la estructura luego del agrietamiento inicial. Este criterio fue estudiado y aplicado por la PUCP desde 1972 hasta la fecha para viviendas populares y por el Getty Seismic Adobe Project (GSAP) de la GCI, en la década de los 90s, especialmente orientado a edificios históricos (Vargas et al., 1978;

Vargas et al., 2005; Tolles et al., 2002).

- c. Un criterio desarrollado recientemente está basado en la recuperación de la resistencia inicial de los muros fisurados. Se trata de reparar las fisuras existentes (generalmente de origen sísmico) para así desaparecer las discontinuidades producidas por éstas. Se requiere, entonces, reparar la estructura cada vez que la dañe un terremoto, para evitar la acumulación del daño. Este criterio fue desarrollado por la PUCP, con el apoyo de la GCI (Blondet et al. 2007a,b, 2008).

En áreas sísmicas conviene usar de manera complementaria dos o los tres criterios. La severidad sísmica obliga a contemplar todas las herramientas para evitar los colapsos.

4. HERRAMIENTAS Y MÉTODOS DE INTERVENCIÓN PARA LA CONSERVACIÓN MONUMENTAL DE ARQUITECTURA DE TIERRA EN ÁREAS SÍSMICAS

Durante los últimos cuarenta años, en reacción a las pérdidas de vida y daños materiales producidos por los terremotos, la academia, los estados y el mundo profesional han reaccionado estudiando e intensificando programas de investigación que permitan disminuir la vulnerabilidad de las construcciones de tierra, a través del uso de refuerzos o reparación de daños. A continuación se describen abreviadamente tres importantes investigaciones.

4.1 Investigaciones desarrolladas en la PUCP con criterios de estabilidad, comportamiento o reforzamiento

Los tipos de refuerzos desarrollados en la PUCP desde 1972 hasta la fecha, orientados fundamentalmente a la vivienda de interés social y a construcciones comunales, consideran el uso de vigas collar superiores y adicionalmente algún tipo de mallas de refuerzo. Se reducen a cuatro generaciones de refuerzos, donde las más modernas pueden tener aplicación en la conservación monumental:

- Mallas internas de caña. 1974-1985 (Vargas J. 2005, p.4 y p.6).
- Mallas electrosoldadas embutidas en

enlucidos de cemento y arena. 1985-2005 (Zegarra L., 1997).

- Mallas externas de caña y sogas y con geomallas. 2005. (Torrealva D. 2005 pp. 2-3) Proyecto GCI/PUCP
- Geomallas de polímeros con enlucidos de barro. 2004-2009 (Blondet et al., 2007).

Las tres primeras soluciones son recomendadas para áreas de actividad sísmica moderada. El refuerzo de geomallas ha demostrado ser más eficiente en conceder ductilidad, por lo cual puede emplearse confiablemente en áreas de mayor actividad sísmica. Este sistema ha sido empleado en algunas intervenciones patrimoniales en Perú, con muros sin valor pictórico. Se percibe una reacción negativa frente a este tipo de refuerzo porque la colocación de la malla eliminaría el enlucido original.

4.2 Proyecto de Investigación realizado por la GCI con criterio de estabilidad o reforzamiento

El proyecto Getty Seismic Adobe Project (GSAP) se condujo en California y en Skopje (Macedonia). Iniciado en 1990, el proyecto estuvo especialmente dirigido a dar estabilidad y seguridad a las construcciones monumentales construidas en tierra.

Los refuerzos desarrollados por el proyecto GSAP desde 1990 hasta alrededor de 1997 (Tolles et al., 2003) consisten en elementos confinantes que conceden algún tipo de ductilidad y estabilidad global a los muros. Los muros más esbeltos requieren soluciones más agresivas. Las principales herramientas recomendadas son:

- Viga collar superior de madera.
- Detallados de conexiones muro-techo.
- Diafragmas de madera en casos de construcciones con tímpanos.
- Lazo horizontal superior y /o inferior, de material sintético o acero flexible (cables).
- Lazos verticales cerca de las esquinas y vanos, de material sintético o cables.
- Combinación de vigas collar y lazos horizontales y verticales.
- Barras centrales de acero o material sintético embutidas en alvéolos y fijados con algún tipo de lechada.

Como en el caso peruano, los proyectos elaborados en California utilizando soluciones con estos refuerzos, han recibido una reacción adversa de la comunidad internacional de conservadores por ser consideradas agresivas, especialmente la solución de los núcleos centrales (core centers) que resultan irreversibles (Barrow J. et al., 2005).

4.3 Investigaciones en curso de la PUCP, con criterios de restitución de la resistencia estructural. Reparación de Fisuras con lechadas de barro

El sistema de reparación de fisuras en muros y estructuras de tierra por inyección de barro líquido (grout), se viene desarrollando por la PUCP desde el 2005 hasta la fecha con el apoyo de la Dirección Académica de Investigación. Este proyecto contó en su segundo año de desarrollo con el apoyo simultáneo de la GCI (2007). Un avance de resultados fue presentado en el "First Experts Meeting on Seismic Repair and Retrofit for Earthen Buildings Structural Grouting Research" Lima, 2007 organizado por la GCI.

5. EJEMPLOS DE APLICACIONES EN EL CAMPO

5.1 Reconstrucción del Complejo Histórico Mateo Salado, Lima, Perú

Este complejo fue construido en tierra y piedras por la Cultura Ichzma (siglo XII) y ocupado luego por los Incas. Se trata de varias pirámides truncas, formadas por capas de alrededor de 2.5 m de altura, constituidas por retículas de muros de piedras redondeadas sostenidas por rellenos de tierra y muros de contención perimetrales de capas verticales de tapial.

Los sismos destruyeron los muros de contención y con ello se perdió la estabilidad de grandes sectores. Con inyecciones de barro pretamizado líquido se restituyeron juntas de mortero de barro, tanto en fisuras transversales, como en la separación longitudinal de las capas de tapiales. Esta amigable intervención es realizada con materiales del lugar. Antes de vaciar el grout de barro líquido (suelo tamizado con alto contenido de agua), se

emplearon sellos permanentes de barro y unas tablas para sujetarlos.

En la Fig. 3 se observa uno de los múltiples casos de muros de sostenimiento de tapial, formados por capas verticales, que al despegarse entre sí por el paso del tiempo, pierden su continuidad y reducen varias veces su resistencia. Como es sabido, tres capas juntas pero sin adhesión crean un muro de sostenimiento de mucha menor resistencia que la de un muro sólido. La inyección de las juntas entre capas, multiplica su resistencia, sin uso de



Fig. 3. Muro de sostenimiento debilitado, que se inyecta para multiplicar su resistencia frente a los empujes laterales del relleno. (Crédito: Mirna Soto, 2008).

refuerzos. Estas soluciones amigables fueron ejecutadas por el arqueólogo encargado de las obras, Pedro Espinosa del INC, 2009, con la asesoría estructural de Julio Vargas N.

5.2 Taller de restauración en el Acllawasi de Pachacamac, Lima, Perú

El Acllawasi de Pachacamac fue reconstruido por el arqueólogo Julio C. Tello, entre el 1941 y 1945 después del sismo de 1940, utilizando los mismos materiales y tecnología originales. Los sismos de 1966, 1970, 1974 y 2007 se encargaron de volverlo a destruir. Bajo un programa de UNESCO Perú, se realizó estudios sobre los

archivos históricos de J.C.Tello y trabajos de restauración en un pequeño espacio del vasto complejo, para un taller de arqueólogos y técnicos del lugar. Se trata de un proceso de capacitación sobre las nuevas técnicas de reparación de fisuras por inyección de barro líquido. En la Fig. 4 se aprecia la reparación de las grietas realizadas por la Arq. Sofía Rodríguez Larraín en el Acllawasi dentro de un equipo multidisciplinar dirigido por el Arq. Edgar Santa Cruz con asesoría estructural del Ing. J. Vargas Neumann.

5.3 Intervención de la Casa Marrou, Lima, Perú

Una interesante aplicación de refuerzo



Fig. 4. Aplicaciones de reparación de fisuras por inyección de barro líquido en el Acllawasi. Soluciones amigables. (Crédito: Sofía Rodríguez Larraín, 2008)

reversible de geomallas y reparación de fisuras por inyección de barro líquido de suelo tamizado se realizó en la antigua Casa Marrou, Barranco, Lima. La obra fue dirigida por la conservadora Arq. Sofía Rodríguez Larraín en 2008, con la asesoría estructural del ing. Julio Vargas N. Se retiró el enlucido impermeable de cemento con el que había sido reparado y colocó la malla polímera embutida en enlucido de barro y paja que permitía “respirar” a los muros de adobe.

5.4 Intervención de la casona de adobe Las Flores en California, USA

Esta experiencia fue ejecutada por un equipo de profesionales de conservación dirigidos por Jake Barrow en California, 2004. Se utilizó herramientas desarrolladas en el GSAP, como el refuerzo de confinamiento superior (cable de acero, solución reversible) y los núcleos centrales (solución no reversible). La aplicación de esta última solución crea cierta reacción y puede desalentar otras soluciones aceptables y muy convenientes del GSAP.

5.5 Modelo de reciente intervención en la Ciudadela de Bam, Irán

Debido a la recurrente destrucción sísmica, en 1970 se inició un proceso de reconstrucción de la ciudadela del Fuerte de Bam, Irán, utilizando los materiales y tecnologías originales, como en el caso del Acllawasi. En el 2003, la ciudadela fue devastada por otro sismo, cuando se seguían realizando trabajos de reconstrucción.

Recientemente, se realizó un nuevo modelo de intervención muy discutido, basado en criterios de reforzamiento más agresivos. Se trata de la reparación de una de las 38 torres de la histórica ciudadela amurallada de Arg-e Bam, realizada por un equipo consultor italiano, que fue presentada en Lima por el Ing. Valter Santoro. Es un caso de múltiples perforaciones locales y globales y reforzamiento con varillas de fibra de vidrio, adheridas con lechada de barro líquido. Las Figs. 5 y 6 muestran aspectos de esta solución semejante a la de los núcleos centrales del GSAP, pero con bastante más agresividad e irreversibilidad.

6. LAS CARTAS INTERNACIONALES DE CONSERVACIÓN (ADOPTADAS POR ICOMOS)

Las cartas de conservación internacionales podrían ayudar a frenar la destrucción de la arquitectura patrimonial en tierra o piedra con tierra en áreas sísmicas si contemplaran las profundas y diferentes características de vulnerabilidad de los materiales y estructuras frente a los terremotos.

La actividad sísmica divide al mundo en dos áreas y ya no es posible ignorar este hecho. Los adelantos tecnológicos de la

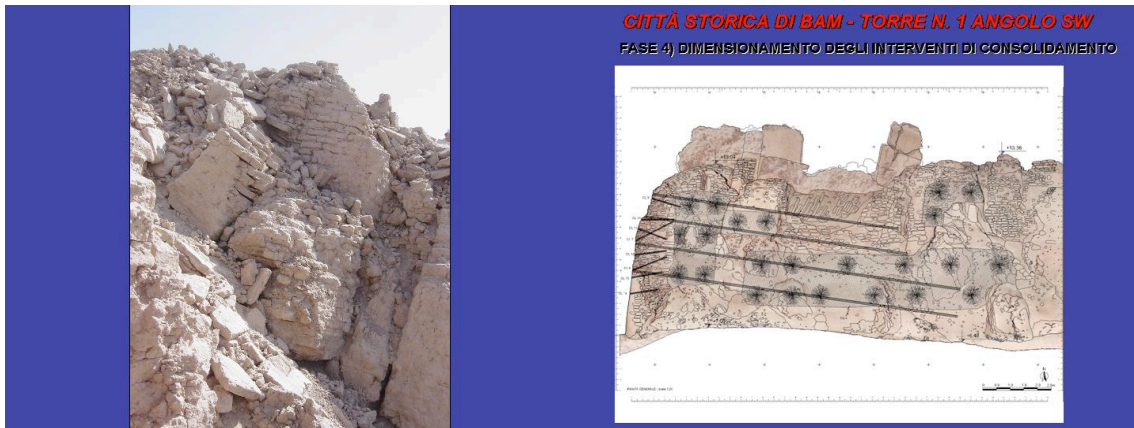


Fig. 5. Vista del estado del daño en la torre y plan de perforaciones ortogonales e inclinadas, para refuerzos de fibra de vidrio. Ciudadela de Bam, Irán. (Crédito: Ing. Valter Santoro, 2008).



Fig. 6. Andamiaje, perforación y colocación de varillas de fibra de vidrio en posición. Ciudadela de Bam, Irán (Crédito: Ing. Valter Santoro, 2008).

ingeniería sismorresistente de los últimos 50 años demuestran muy claramente la imposibilidad de tratar la conservación patrimonial bajo un mismo conjunto de recomendaciones genéricas.

La teoría de la deriva continental ha sido consolidada, explica las causas de los terremotos y define una geografía sísmica, donde los efectos sobre la naturaleza y las edificaciones puede tratarse y estudiarse por modernas técnicas probabilísticas. Gracias a los estudios históricos y estadísticos instrumentales es posible estimar comparativamente el riesgo sísmico de todo el planeta y definir mapas de riesgo o amenaza sísmica. Se conoce entonces los lugares con mayor o menor peligro sísmico, o sin peligro sísmico.

Los sismos producen en las edificaciones fuerzas de inercia adicionales a las fuerzas verticales permanentes debidas a la ley

de la gravedad. Las fuerzas sísmicas son dinámicas: variables de intensidad en el tiempo con diferentes frecuencias.

Aunque el hombre está habituado a las fuerzas gravitacionales, no lo está a las fuerzas sísmicas y además no siempre tiene conciencia de su importancia. Este hecho se refleja en la poca resistencia frente a los terremotos de las obras que creó en el pasado. Las fuerzas sísmicas producen esfuerzos, agrietamientos y fallas en los elementos estructurales sin un buen diseño, que pueden llevarlos a colapsos parciales y totales durante los terremotos.

Los materiales débiles y frágiles frente a fuerzas de tracción, como los empleados en las construcciones de tierra o piedra con tierra, se agrietan a fuerzas bastante menores que otras mamposterías como las de ladrillo o piedra asentados con morteros de cal y arena o mejores. Los materiales frágiles, además, sufren roturas súbitas, lo que significa falta de seguridad para los ocupantes de las construcciones.

La recurrencia sísmica produce acumulación del daño estructural, hasta niveles de colapso y desaparición del valor patrimonial. Ello exige o la permanente reparación del daño después de cada terremoto, o el uso de refuerzos estructurales permanentes y compatibles con los materiales débiles, que tengan altas resistencia a la tracción para evitar los daños mayores o colapsos.

Al amparo de los criterios de las cartas de conservación, se han utilizado los mismos materiales y tecnologías de construcción originales en la conservación. Estas esforzadas intervenciones han resultado insuficientes frente a las fuerzas sísmicas. Así, se ha creado un ciclo repetitivo de conservación versus daño que conlleva a la paulatina desaparición del valor patrimonial y al riesgo de vida. Esto ocurrió en la Ciudadela de Arg-e Bam y en el Acllawasi de Pachacamac por citar solo dos casos.

Para salvar el patrimonio en tierra en áreas sísmicas, se necesita incluir en las cartas de conservación adoptadas por ICOMOS, la posibilidad de colocar refuerzos compatibles y permanentes con criterios de mínimo esfuerzo y reversibilidad.

7. CONCLUSIONES PARA ÁREAS SÍSMICAS

- 1) Es necesario evitar la destrucción del patrimonio de arquitectura de tierra y piedra con tierra, ocasionado por los frecuentes y severos terremotos.
- 2) Hay que difundir y perfeccionar las técnicas de reparación de fisuras por inyección de barro líquido en muros históricos de tierra.
- 3) Bajo los criterios recomendados en las cartas internacionales actuales se producen los ciclos de daño-intervención-daño mostrados en el siglo pasado y el actual.
- 4) Es necesario perfeccionar las cartas Internacionales de conservación para permitir la colocación de refuerzos permanentes de materiales resistentes a tracción y compatibles con las obras en base a tierra y piedra con tierra en áreas sísmicas, con criterios de mínima intervención y reversibilidad.

Bibliografía

Barrow, J., Porter, D., Farneth, S. y Tolles, L. (2005). Las Flores adobe seismic retrofit: A case study using GSAP Guidelines and Development of Compatible and Reversible Grouts. *Seminario Internacional de la Arquitectura, Construcción y Conservación de Edificaciones en Tierra en*

Áreas Sísmicas. Lima: SismoAdobe2005.

Blondet, M., Vargas, J. and Tarque, N. (2007). *Behavior of earthen structures during the Pisco earthquake, Perú*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Blondet, M., Vargas, J., Ginocchio, F., Morales, K. y Iwaki, C. (2007a). *Estudio preliminar del uso de grouts de barro para reparar fisuras estructurales en muros históricos de adobe*. EEUU: AdobeUSA 2007.

Blondet, M., Vargas, J., Ginocchio, F., Villa García, G., Morales, K. y Iwaki, C. (2007b). *Reparación de grietas en construcciones históricas de tierra en áreas sísmicas, Informe Final DAI*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Blondet, M., Vargas, J., Ginocchio, F., Villa García, G., Sanchez, K., Fernandez, C. y Chang, J. (2008). *Reparación de grietas en construcciones históricas de tierra en áreas sísmicas, Parte II, Informe Final DAI*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

De Sensi, B. (2003). *Terracruda, La diffusione dell'architettura di terra*. Disponible en <http://www.terracruda.com/architetturadiffusione.html>

Santa Cruz, E. (2009). *Proyecto de intervención en el sector del Acllahuasi del Sitio Arqueológico de Pachacamac, Informe final*. Lima: UNESCO, Comisión Nacional Peruana de Cooperación de la UNESCO.

Tolles, E. L., Kimbro, E. E., and Ginell, W. S. (2002). *Planning and engineering guidelines for the seismic stabilization of historic adobe structures*. GCI Scientific Program Reports. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.

Torrevalva, D., Acero, J. (2005). *Uso de materiales naturales y de polímeros en el refuerzo sísmico de construcciones de adobe. Seminario Internacional de la Arquitectura, Construcción y Conservación de Edificaciones en Tierra en Áreas Sísmicas*. Lima: SismoAdobe2005.

Vargas, J., Blondet, M., Ginocchio, F. y Villa García, G. (1978). *La vivienda rural de adobe*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Vargas, J., Bariola, J., Blondet, M. y Metha, P. (1984). *Seismic strength of adobe masonry*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Vargas, J., Blondet, M., Ginocchio, F. y Villa García, G. (2005). 35 años de investigaciones en sismo adobe: la tierra armada. *Seminario Internacional de la Arquitectura, Construcción y Conservación de Edificaciones en Tierra en Áreas Sísmicas*. Lima: SismoAdobe2005.