

# Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project 2006 Colloquium

Getty Center  
Los Angeles, California  
April 11–13, 2006

*Resúmenes adicionales de ponencias en español*

**Nota acerca de esta sección:**

Esta sección contiene los resúmenes en español de las 16 ponencias publicadas en los *Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project 2006 Colloquium* publicado por el Getty Conservation Institute.

El manuscrito completo está disponible en inglés y se puede bajar en formato PDF en el portal del Getty Conservation Institute en la siguiente dirección: [www.getty.edu/conservation/publications](http://www.getty.edu/conservation/publications).

©2009 J. Paul Getty Trust

The Getty Conservation Institute  
1200 Getty Center Drive, Suite 700  
Los Angeles, CA 90049-1684  
United States  
Telephone: 310 440-7325  
Fax: 310 440-7702  
E-mail: [gciweb@getty.edu](mailto:gciweb@getty.edu)  
[www.getty.edu/conservation](http://www.getty.edu/conservation)

Coordinadora de producción: Angela Escobar  
Editora en inglés: Sylvia Lord  
Diseñador: Hespeneide Design  
Editoras y traductoras en español: Claudia Cancino y Alessandra Bonatti

El Getty Conservation Institute (GCI) trabaja a nivel internacional con el objetivo de mejorar la práctica en la conservación de las artes plásticas, las cuales incluyen obras de arte, colecciones, arquitectura y sitios arqueológicos. El instituto sirve a la comunidad de profesionales de la conservación a través del desarrollo de investigaciones científicas, formación y capacitación, proyectos de campo modelos y la difusión del conocimiento adquirido durante el desarrollo de su propio trabajo y del trabajo de otros en el campo de la conservación. En todas sus iniciativas, el GCI se concentra en la creación y difusión del conocimiento que beneficia a los profesionales y organizaciones responsables de la conservación del patrimonio cultural mundial.

PRIMERA PARTE

# Investigación y Pruebas de Laboratorio

*Daniel Torrealva, Julio Vargas Neumann,  
and Marcial Blondet*

**Earthquake Resistant Design Criteria and Testing  
of Adobe Buildings at Pontificia Universidad  
Católica del Perú**

*Mohammad Shariful Islam and Kazuyoshi Iwashita*

**Seismic Response of Fiber-Reinforced and  
Stabilized Adobe Structures**

*Dominic M. Dowling and Bijan Samali*

**Low-Cost and Low-Tech Reinforcement Systems  
for Improved Earthquake Resistance of Mud  
Brick Buildings**

*E. Leroy Tolles*

**Getty Seismic Adobe Project Research and  
Testing Program**

# Earthquake Resistant Design Criteria and Testing of Adobe Buildings at Pontificia Universidad Católica del Perú

*Daniel Torrelava, Julio Vargas Neumann, Marcial Blondet*

## **Criterios de diseño sismo resistente y ensayos de edificios de adobe en la Pontificia Universidad Católica del Perú**

La investigación sismo resistente de edificaciones de tierra empezó en el Perú a principios de los años 70, después del devastador terremoto del 31 de Mayo de 1970 en la ciudad de Huaraz, Departamento de Ancash. La Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), entre otras instituciones, empezó un programa para investigar el comportamiento sísmico de edificios de tierra de 4 m x 4 m (13 x 13 pies) en planta y a escala natural que fueron ensayados en una mesa inclinada. El resultado final de esta investigación preliminar fue la acertada utilización de la caña de bambú embebida dentro de los muros de adobe como refuerzo continuo y compatible con el material original. En los años 80, una mesa vibradora fue instalada en los Laboratorios de Estructuras de la PUCP para ensayar modelos similares usando simulaciones unidireccionales. Estos ensayos dinámicos corroboraron los resultados obtenidos usando la mesa

inclinada. En los años 90 el programa de investigación se concentró en reducir la vulnerabilidad de edificios existentes a través del uso de técnicas de reforzamiento que pudieran ser aplicadas al exterior de los muros usando mayormente mallas de gallinero cubiertas con revestimiento de arena-cemento. Desde el año 2003, ensayos dinámicos en modelos a escala natural se han concentrado en el uso de una malla de polímero como material de refuerzo. Esta última parece ser más compatible con los edificios en tierra y resistente a niveles altos de aceleración sísmica. Las investigaciones sobre resistencia sísmica de edificaciones de tierra realizadas de manera continua en la PUCP en los últimos 31 años, han servido además de base para la elaboración de la Norma del Adobe del Código Nacional de Construcciones del Perú. En todas sus versiones (1977, 1985 y 2000), el criterio de elasticidad ha sido utilizado para diseñar la resistencia original; y el concepto de diseño de estado límite, está presente en los sistemas de reforzamiento requeridos para evitar el colapso de la edificación.

# Seismic Response of Fiber-Reinforced and Stabilized Adobe Structures

*Mohammad Shariful Islam, Kazuyoshi Iwashita*

## **Respuesta sísmica de estructuras hechas de adobe reforzadas y estabilizadas con diferentes tipos de fibras**

La mayor parte de pérdida de vidas humanas y daños mayores en propiedades e inmuebles que ocurren por causa de un terremoto en países en vías de desarrollo se debe al colapso de edificaciones hechas de adobe. A pesar de esto y tras considerar las diferentes razones socioeconómicas para el uso de este material, así como la falta de soluciones alternativas al mismo, es muy probable que la tierra se siga utilizando por décadas para levantar edificaciones especialmente en los países antes mencionados. Las deficiencias sísmicas de las estructuras de adobe se deben a su comportamiento poco elástico y frágil, y a la poca resistencia del mortero que utilizan. El reforzamiento de estructuras de adobe debe ser económico, asequible y fácil de ejecutar. En este contexto, se

han seleccionado la caña, el yute y la paja para mejorar la resistencia sísmica de los bloques de adobe; y el cemento, para mejorar la resistencia del mortero.

Las pruebas uniaxiales muestran que el yute y la paja son eficaces para impartir ductilidad al adobe pero la caña no lo es. Más aún, la fuerza del adobe reforzado con yute es significativamente mayor a la del adobe reforzado con paja; siendo por ello el yute la mejor opción entre estas fibras. El adobe reforzado en un 2% con yute de longitud entre 1 y 2 cm (6.4 y 0.8 pulgadas) resultó ser el más eficaz para mejorar el desempeño sísmico de estructuras de adobe. La fuerza del mortero puede aumentar con el uso del yute o del yute con cemento y resulta además eficaz para la reducción de grietas. Los resultados en la mesa vibradora confirmaron que las estructuras de adobe reforzado con fibra de yute muestran la máxima resistencia sísmica.

# Low-Cost and Low-Tech Reinforcement Systems for Improved Earthquake Resistance of Mud Brick Buildings

*Dominic M. Dowling, Bijan Samali*

## **Modelos de bajo costo y tecnología simple para mejorar la resistencia sísmica de edificaciones de adobe**

Las estructuras tradicionales hechas con ladrillos de adobe son sumamente susceptibles a daños y destrucción en caso de sismos. Esta vulnerabilidad es evidente en las edificaciones históricas de adobe al rededor del mundo, así como en la vivienda tradicional contemporánea en países en vías de desarrollo, donde continuos terremotos causan la drástica pérdida de vidas y el daño irreparable a propiedades e inmuebles. Las investigaciones sobre el adobe que se llevan a cabo en la University of Technology, Sydney, Australia (Universidad Tecnológica de Sydney, Australia, UTS por sus siglas en inglés) se centran en el desarrollo de sistemas de bajo costo que no requieren el uso de tecnología compleja para la construcción de estructuras de adobe. A la fecha, diez muros-paneles de adobe en forma de “U” y una edificación a escala 1:2 con diferentes sistemas de refuerzo se han sometido a cargas dinámicas transitorias en mesas vibratorias para evaluar el comportamiento de los mismos durante un terremoto. Se simularon sismos espaciados y escalonados para garantizar igualdad dinámica,

generar suficiente energía e inducir daño severo en las estructuras. Las características de la fuerza de desplazamiento y los mecanismos de falla han sido estudiados para determinar la capacidad de resistencia de cada estructura. Los resultados indican que puede mejorarse el comportamiento estructural utilizando refuerzos verticales y horizontales externos (por ejemplo, de bambú y/o alambre) y una viga collar de madera. Esta red integrada a la estructura tiene el efecto de restringir el movimiento y mejorar la resistencia general de la estructura. Estas pruebas han demostrado que este sistema resulta eficaz para retardar la aparición preliminar de grietas y evitar el colapso, inclusive durante movimientos sísmicos severos. El sistema que se propone es eficaz, sencillo, económico y fácil de adaptar a una amplia variedad de materiales y condiciones locales. Puede utilizarse para la estabilización sismo resistente y el reforzamiento de estructuras existentes, así como para construcciones nuevas. Cuenta con un gran potencial de aplicación en países en vías de desarrollo, así como para la protección y conservación de las estructuras históricas de adobe en todo el mundo.

# Getty Seismic Adobe Project Research and Testing Program

*E. Leroy Tolles*

## **Investigación y programa de ensayos del *Getty Seismic Adobe Project***

En la década de 1990, el *Getty Conservation Institute* (Instituto de Conservación Getty, GCI por sus siglas en inglés) financió el *Getty Seismic Adobe Project* (Proyecto Sísmico en Adobe del Instituto Getty, GSAP por sus siglas en inglés). Este fue un programa multidisciplinario de investigación que tuvo por objetivo desarrollar medidas eficaces de estabilización sismo resistente de mínimo impacto en estructuras históricas de adobe.

Las etapas preliminares de este proyecto incluyeron el levantamiento de prototipos arquitectónicos comunes entre las construcciones históricas de adobe, un estudio de las entonces técnicas utilizadas en la estabilización sismo resistente de construcciones históricas de adobe en los Estados Unidos, una revisión de la literatura técnica y el estudio de informes pasados sobre daños en construcciones históricas de adobe. Lo que aún se presentaba como ausente para completar la información básica requerida, era el levantamiento detallado de daños ocasionados específicamente por terremotos a construcciones históricas de adobe.

El terremoto de 1994 en Northridge se presentó como una oportunidad importante para reunir la información faltante ya que durante dicho sismo, las construcciones históricas de adobe cercanas a Los Angeles, California sufrieron daños de consideración. Se docu-

mentaron y publicaron en 1996 los daños sufridos en más de una docena de edificios históricos de adobe. Este estudio de campo incluyó un análisis general de daños sísmicos típicos que se presentaron en las construcciones históricas de adobe de la región.

Una parte importante del proyecto de investigación se dedicó a realizar pruebas de ensayos en mesas vibratorias de modelos a escala de muros y edificaciones de adobe. Se ensayaron 9 edificaciones a pequeña escala (1:5) en *Stanford University* (Universidad de Stanford) y dos modelos de mayor escala (1:2) en las instalaciones del *Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology, University "SS. Cyril and Methodius"* (Instituto de Ingeniería Sísmica y Sismología Ingenieril, Universidad de "SS. Cyril y Metodio", IZIIS), en Skopje, República de Macedonia. El programa de ensayos se utilizó para evaluar la eficacia de una serie de técnicas de estabilización sismo resistente, entre las cuales se incluyeron tirantes verticales y horizontales, varillas verticales en el centro del muro, sistemas de anclaje en el techo y al nivel del piso, así como vigas collar.

La parte final del proyecto consistió en desarrollar lineamientos de ingeniería que pudieran utilizarse en la estabilización sismo resistente para construcciones históricas de adobe. Estos lineamientos se complementaron además con lineamientos para la planificación de proyectos de estabilización sismo resistente y se divulgaron en conjunto como parte de la publicación final del GSAP.

SEGUNDA PARTE

# Normas y Códigos de Construcción

*Julio Vargas Neumann, Marcial Blondet,  
and Nicola Tarque*

**The Peruvian Building Code for  
Earthen Buildings**

*Hugh Morris*

**New Zealand: Aseismic Performance-Based  
Standards, Earth Construction, Research,  
and Opportunities**

*Mohammed Hamdouni Alami and Stefania Pandolfo*

**Reflecting on Materials and Structure:  
Building Cultures and Research Methodology  
in the Project of a Seismic Building Code for  
Traditional Materials in Morocco**

*Steadie R. Craigo*

**“To Do No Harm”: Conserving, Preserving,  
and Maintaining Historic Adobe Structures**



# The Peruvian Building Code for Earthen Buildings

*Julio Vargas Neumann, Marcial Blondet, Nicola Tarque*

## **El Código de Nacional de Construcciones del Perú para edificaciones de tierra**

Cada vez que un fuerte terremoto azota las regiones donde la construcción con tierra es práctica común, se reportan extensos daños a inmuebles, pérdidas económicas y de vidas humanas, a causa del colapso inesperado de edificaciones de tierra. En algunos casos, como en el Perú, la comunidad académica y profesional ha reaccionado a esta terrible situación llevando a cabo investigaciones con el objetivo final de encontrar reforzamientos sísmicos alternativos y adecuados a edificaciones de tierra, que han sido luego incorporados a los códigos nacionales o regionales de construcción.

Este trabajo resume los efectos de los terremotos en inmuebles hechos de tierra y las soluciones técnicas para el reforzamiento sísmicos de los mismos desarrollados en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). La Norma del Adobe del Código Nacional de Construcciones del Perú es descrita brevemente y comentada críticamente con respecto a algunas consideraciones de diseño utilizadas en la misma. Finalmente, los autores ofrecen algunas reflexiones sobre la utilidad de los códigos de construcción que incluyen requerimientos para las construcciones en tierra en países en vías de desarrollo.

# New Zealand: Aseismic Performance-Based Standards, Earth Construction, Research, and Opportunities

*Hugh Morris*

## **Nueva Zelanda: Normas sismo resistentes basadas en el desempeño, construcción con tierra, investigación y oportunidades**

Nueva Zelanda cuenta una combinación de edificaciones en tierra auto-construidas y otras de alto valor arquitectónico edificadas por contratistas para propietarios pri-

vados. Este trabajo describe el contexto histórico en que dichas edificaciones de tierra se construyeron, comenta el estado de conservación de las mismas, ofrece una visión general del desarrollo de las normas y estándares para edificaciones de tierra en Nueva Zelanda e identifica oportunidades para investigaciones y estudios a futuro.

# Reflecting on Materials and Structure: Building Cultures and Research Methodology in the Project of a Seismic Building Code for Traditional Materials in Morocco

*Mohammed Hamdouni Alami, Stefania Pandolfo*

## **Reflexiones sobre materiales y estructura: Culturas constructivas y metodología de investigación para el desarrollo de un código de construcción antisísmico usando materiales tradicionales en Marruecos**

Esta ponencia describe la elaboración de un código de construcción usando materiales tradicionales, concebido y desarrollado en cooperación con diferentes instituciones y profesionales internacionales, después del terremoto que golpeó la ciudad de Al-Hoceima en el 2004. Una serie de acciones se han ejecutado dentro de un marco de trabajo organizado por etapas. A la fecha, la segunda de tres fases de implementación está siendo llevada a cabo.

La ponencia empieza con una breve pero profunda visión general del proyecto. Luego se discute la necesidad

de desarrollar un mejor entendimiento de los sistemas estructurales locales y la hipótesis de que la cultura local nos ayuda a definir mejor las tipologías arquitectónicas y estructurales. En este trabajo, la cultura constructiva no es percibida simplemente como un elemento adicional al conocimiento, sino sobre todo como una visión teórica de los materiales, formas y estructuras; una ontología y epistemología relacionada. Las opiniones y conceptos del maestro de obra sobre los materiales, la ejecución de la obra y las técnicas constructivas en tierra son presentadas en conexión con la forma arquitectónica. Sobre la base de estas opiniones y otras observaciones, una definición preliminar de las tipologías arquitectónicas y estructurales se expone en este trabajo, corroborada además por un inventario llevado a cabo en tres diferentes regiones del país.

# “To Do No Harm”: Conserving, Preserving, and Maintaining Historic Adobe Structures

*Steadie R. Craig*

## **“No Maltratar”: Conservar, preservar y mantener edificaciones históricas de adobe**

El adobe de tierra cruda es un material de construcción simple y natural que perdura por siglos si es mantenido adecuadamente. En regiones sísmicamente activas, como la del estado de California, el sur-oeste de los Estados Unidos y otras alrededor del mundo, el mantenimiento de estructuras en adobe debe incluir además la reparación estructural y la estabilización sismo resistente, respetuosa del significado histórico de las mismas. Esfuerzos para mitigar el riesgo sísmico son necesarios tanto para la seguridad de los habitantes así como para la preservación de tan importantes edificaciones.

Esta ponencia ofrece una revisión general de los principios en conservación y las definiciones contradictorias del término *preservación*. Referencias y explicaciones sobre *The Secretary of the Interior’s Standards for the Treatment of Historic Properties* (Estándares de la Secretaría del Interior para la Intervención en Propiedades Históricas, Weeks y Grimmer 1995), expedientes de estructuras históricas y el proceso de revisión reglamentario son discutidos en el presente trabajo; así como también la manera en que todos estos recursos son aplicados en el desarrollo de proyectos modelos de conservación y en estabilizaciones sismo resistentes de edificaciones históricas en adobe.

TERCERA PARTE

## Casos de Estudio

*Bilge Isik*

**Seismic Rehabilitation Study in Turkey for  
Existing Earthen Construction**

*John Hurd*

**Observing and Applying Ancient Repair  
Techniques to Pisé and Adobe in Seismic Regions  
of Central Asia and Trans-Himalaya**

*Sandeep Sikka and Charu Chaudhry*

**Research on the Upgrade of Traditional  
Seismic Retrofits for Ancient Buddhist Temples  
in the Region of Spiti and Kinnaur in the  
Western Himalayas**

*Dina D'Ayala*

**Seismic Vulnerability and Conservation  
Strategies for Lalitpur Minor Heritage**

*Patricia Navarro Grau, Julio Vargas Neumann,  
and Maribel Beas*

**Seismic Retrofitting Guidelines for the  
Conservation of Doctrinal Chapels on  
the Oyón Highlands in Peru**

# Seismic Rehabilitation Study in Turkey for Existing Earthen Construction

*Bilge Isik*

## **Estudio de estabilización sismo resistente en Turquía para construcciones existentes de tierra**

La arquitectura hecha con tierra se caracteriza por una gran diversidad de técnicas, determinadas por el ambiente cultural y geográfico en el que se desarrollan. En Turquía, la construcción con adobes e *hımış* (hımış) constituyen los principales tipos de arquitectura de tierra. Una construcción de hımış es una edificación que tiene una estructura arriostrada de marcos de madera rellenos con bloques de tierra, que es diferente a una construcción sólida de mampostería de adobe no reforzada. Esta última es frágil, mientras que las estructuras de arriostre resultan seguras en regiones sísmicas. Edificios de 150 años de antigüedad construidos con hımış no necesitan mantenimiento, lo que dice mucho sobre la durabilidad y estabilidad de los mismos.

En el siglo pasado, las edificaciones portantes en tierra se construían sin apoyo tecnológico y lamentablemente, muchas comunidades fueron víctimas del deficiente comportamiento anti-sísmico de las mismas. Sin embargo, las edificaciones hechas de hımış, cons-

truidas por artesanos locales sin mayor conocimiento o inspección, resistieron por ejemplo, el terremoto de Adapazarı de 1999; y las personas que vivían en ellas, sobrevivieron.

La seguridad y resistencia estructural de las construcciones hechas de tierra depende de los principios de diseño utilizados, así como de las propiedades del material empleado. A partir de 1978, los investigadores de la *Istanbul Technical University* (Universidad Técnica de Estambul, ITU por sus siglas en inglés) han estudiado la influencia de la adición del yeso en la fabricación de bloques de tierra para expandir su durabilidad y mejorar además la respuesta sísmica de las estructuras construidas con estos bloques mejorados.

Este trabajo presenta un estudio que se llevó a cabo para analizar los principios de diseño de la mampostería de adobe no reforzada e hımış, con el fin de investigar la respuesta sísmica de las mismas. Esta ponencia presenta además los correspondientes capítulos del Código de Terremotos de Turquía como medidas complementarias de rehabilitación.

# Observing and Applying Ancient Repair Techniques to Pisé and Adobe in Seismic Regions of Central Asia and Trans-Himalaya

*John Hurd*

## **Observación y aplicación de antiguas técnicas de reparación de tierra apisonada y adobe en regiones sísmicas del Asia Central y los Trans-Himalayas**

La oportunidad de examinar el uso de técnicas altamente sofisticadas de construcción antisísmica y técnicas de reparación en el cinturón de depósitos arcillosos en China, en la región de los Himalayas y en el Asia Central, nos pone en contacto con una transmisión de habilidades y técnicas aprendidas empíricamente que tiene al menos tres mil años de antigüedad. En construcciones de tierra apisonada en todo el altiplano Tibetano, en las laderas meridionales de los Himalayas, y en el centro y norte de China; como en construcciones hechas de adobe en todo el Asia Central, en los países turcos y las sierras norteñas de las Montañas de Altai; el uso y la incorporación de técnicas tradicionales de construcción sismo resistentes continuó hasta hace no muy poco tiempo.

Debido a que estas técnicas provienen de un entendimiento cultural local, la población ha ignorado las mismas en favor de soluciones modernas a base de cemento y concreto o en favor de la estabilización sismo resistente que utiliza materiales y técnicas modernos, perfectamente válidos, pero no necesariamente adecuados para estas regiones. Las antiguas técnicas conocidas como “costura suave” o “costura laminada” y/o el “apisonamiento en seco” han demostrado ser eficaces ya que han sido utilizadas durante mucho tiempo en regiones de alta sismicidad.

El autor de esta ponencia ha estudiado reparaciones hechas en Afganistán, Pakistán, en las de ese entonces Repúblicas Soviéticas del Asia Central, en los estados de la cadena de los Himalayas y en la Cuenca de Tarim en la China occidental. En los últimos quince años, ha aplicado las técnicas observadas en estructuras de tierra apisonada en Gran Bretaña, en zonas arqueológicas del Asia Central y en estructuras ruinosas en los Himalayas. Después del terremoto de 1998 en Badakshan al norte de Afganistán, el autor construyó además refugios de adobe añadiendo capas horizontales de fibra vegetal como refuerzos y tuvo la oportunidad de inspeccionar el buen desempeño de estas estructuras después del terremoto del año 2000. La adición de fibra vegetal permitió que la mayoría de los ocupantes de las mismas sobrevivieran al movimiento sísmico. El uso de vigas collar o viguetas sismo resistentes de madera, ladrillo y/o materiales vegetales (incluyendo tela de saco y paja) es práctica regular en estructuras que datan del siglo IV de nuestra era hasta el presente. Las reparaciones tradicionales, incluyendo aquellas hechas con costuras, se comportan mayormente igual que los anillos construidos con diferentes materiales. Siguen existiendo en la región importantes técnicas de apisonamiento en seco y estas antiguas técnicas de prevención de grietas y debilidades sísmicas merecen ser investigadas y sometidas a ensayos en laboratorios de estructuras.

# Research on the Upgrade of Traditional Seismic Retrofits for Ancient Buddhist Temples in the Region of Spiti and Kinnaur in the Western Himalayas

Sandeep Sikka, Charu Chaudhry

## **Investigación para el mejoramiento de técnicas tradicionales de estabilización sismo resistente en los antiguos templos budistas de las regiones de Spiti y Kinnaur en las Himalayas occidentales**

Los antiguos templos budistas ubicados en la región de los Himalayas occidentales han evolucionado en respuesta a las severas condiciones climáticas de la región y a la limitada adquisición de recursos materiales. Estas estructuras han mejorado a través del tiempo debido a un proceso constante de ensayo y error, por parte de los constructores y artesanos, para sobrellevar los terremotos y otros desastres naturales. Desafortunadamente, estas edificaciones de tierra están localizadas en las zonas sísmicamente más activas (Zona IV) (*Bureau of Indian Standards*, Oficina de Estándares de la India 1893) y han sufrido daños en el pasado. Edificaciones en la región son afectadas hoy en día por las lluvias anuales de 200 mm – 400 mm (7.8–15.6 pulgadas). Una de las principales áreas de investigación para la conservación de estas construcciones históricas de tierra, llevada a cabo como parte de una pasantía en el *Museum of Archaeology and Anthropology, University of Cambridge, UK* (Museo de Arqueología y Antropología de la Universidad de Cambridge, Reino Unido), era diseñar refuerzos estructurales para mitigar así los efectos de movimientos sísmicos en estas importantes edificaciones. La investigación comprendió el levantamiento detallado y el análisis de elementos de estabilización sísmica ya existentes en las estructuras, seguido de un estudio detallado del riesgo estructural de las mismas; a través de (1) el levantamiento preciso de los elementos estructurales y su deformación después de un terremoto; (2) el entendimiento de la carga transmitida por los

techos históricos a las paredes de dichas estructuras; y, (3) el análisis de la resistencia de los adobes existentes. El estudio también incluía el cambio climático y el consiguiente aumento de los niveles de humedad en la región, lo que también ha llevado a una considerable reducción en la capacidad de las estructuras de adobe, para resistir movimientos sísmicos.

La conservación de este patrimonio vivo pone de manifiesto dos problemas contradictorios. Por una parte, la conservación de la arquitectura histórica y sus elementos más importantes es de importancia capital como documento histórico. Por otra parte, este patrimonio vivo plantea una grave amenaza para la seguridad de sus habitantes en caso de un terremoto. La estabilización sismo resistente hasta un cierto grado podría alterar la edificación histórica y su implementación podría considerarse una amenaza real a la autenticidad de estas estructuras. El diseño práctico y el desarrollo de medidas de estabilización sismo resistente para el caso de éstas construcciones históricas de tierra deberá tomar en cuenta en todo momento la seguridad de sus habitantes, las actuales condiciones de dichas estructuras incluyendo sus materiales y, el comportamiento de los mismos ante otro eventual sismo. Este trabajo expone los resultados del estudio y describe las condiciones de las estructuras históricas de tierra de la región después del terremoto de 1975. Describe además los métodos tradicionales de estabilización sismo resistente que actualmente existen en las estructuras y explica las posibles técnicas y materiales para diseñar nuevos sistemas de estabilización sismo resistente con el fin de fortalecer la estructura y sus componentes materiales antes de que sobrevenga otro sismo.



# Seismic Vulnerability and Conservation Strategies for Lalitpur Minor Heritage

*Dina D'Ayala*

## **Vulnerabilidad sísmica y estrategias de conservación para el patrimonio de Lalitpur**

Nepal está ubicado en una de las regiones con mayor riesgo sísmico en el mundo. El Valle de Katmandú en Nepal alberga una gran cantidad de extraordinario patrimonio arquitectónico en las tres ciudades capitales de Katmandú, Lalitpur, y Bhaktapur, donde edificios del siglo XIII conforman una significativa porción del tejido urbano. Mientras estudios de vulnerabilidad sísmica se han elaborado para otros elementos del medio ambiente construido, especialmente para edificaciones dedicadas a ofrecer servicios como hospitales y escuelas, poca investigación técnica se ha llevado a cabo con referencia a la vulnerabilidad sísmica y técnicas de estabilización sismo resistente de arquitectura histórica en esta región. El procedimiento descrito en el presente trabajo sigue una metodología desarrollada para el estudio de vulnerabilidad de centros urbanos históricos en Europa. El trabajo comprende:

- Identificación de tipologías estructurales típicas en términos de diseño, estructura y hacinamiento,

- Un censo de aquellos elementos tradicionales sismo resistentes ya existentes en dichas tipologías,
- Selección de edificaciones modelos por tipología en una zona particular del centro urbano.

Para la selección de las edificaciones modelos las siguientes actividades son llevadas a cabo:

- Desarrollo de un cuestionario específico para el censo anteriormente descrito.
- Levantamientos de fachadas con el fin de identificar elementos geométricos y estructurales comunes.
- Análisis de los datos encontrados basándose en la teoría de la plasticidad y mecanismos de colapso, con el fin de evaluar la vulnerabilidad sísmica de dichas edificaciones.
- Definición de los diferentes escenarios de daño

Según los resultados obtenidos, las conclusiones de este trabajo se constituyen en recomendaciones para reparar y estabilizar sísmicamente dichas edificaciones.

# Seismic Retrofitting Guidelines for the Conservation of Doctrinal Chapels on the Oyón Highlands in Peru

*Patricia Navarro-Grau, Julio Vargas Neumann, Maribel Beas*

## **Lineamientos para la estabilización sismo resistente y la conservación de capillas doctrinales en las Sierra de Oyón en Perú**

En la Provincia de Oyón, en el Departamento de Lima, a una altitud que varía entre los 2,500 y 4,100 m (8202–13,451 pies) sobre el nivel del mar, se encuentran más de cuarenta capillas doctrinales construidas en el siglo XVII. La Iglesia Católica mandó a edificar estas capillas con la intención de eliminar la idolatría pagana aún existente en la región después de cien años de ocupación española en el Perú. La expresión arquitectónica

de estas capillas de adobe corresponde a un estilo mestizo-vernáculo típico del Renacimiento tardío del siglo XVI de los Andes Centrales del Perú. El presente trabajo describe las características de la tipología estructural de este grupo de capillas y presenta recomendaciones para su estabilización sismo resistente a través de dos diseños de estabilización basados en los lineamientos desarrollados por el *Getty Seismic Adobe Project* (Proyecto Sísmico en Adobe del Getty, GSAP por sus siglas en inglés) del *Getty Conservation Institute* (Instituto de Conservación Getty).

CUARTA PARTE

# Implementación del Getty Seismic Adobe Project

*Frederick A. Webster*

**Application of Stability-Based Retrofit  
Measures on Some Historic and Older Adobe  
Buildings in California**

*E. Leroy Tolles*

**Seismic Retrofit Applications of Getty Seismic  
Adobe Project Technology to Historic Adobe  
Buildings**

*John M. Barrow, Douglas Porter, Stephen Farneth,  
and E. Leroy Tolles*

**Evolving Methodology in Seismic Retrofit:  
Stabilizing the Las Flores Adobe**

# Application of Stability-Based Retrofit Measures on Some Historic and Older Adobe Buildings in California

*Frederick A. Webster*

## **Aplicación de medidas de estabilización sismo resistente en algunas construcciones históricas de adobe en California**

Recientes terremotos en California, incluyendo el de San Simeón en el 2003, han dado como resultado la desaparición y el daño grave de las primeras y culturalmente más importantes edificaciones de California: sus originales construcciones históricas de adobe. Sin dejar de darle la debida importancia al poder destructivo de estos terremotos, los mismos además han presentado la oportunidad, para los ingenieros interesados en la preservación del patrimonio, de estudiar los tipos de daño generados en edificios de muros portantes de albañilería suave o no cocida como resultado de un movimiento sísmico.

Además de un estudio de daños en los edificios históricos de adobe a raíz del terremoto de Northridge de 1994, la *National Science Foundation* (Fundación Nacional para las Ciencias) en la *University of California Berkeley* y *Stanford University* (Universidad de California de Berkeley y la Universidad de Stanford) en los años 80; y el *Getty Conservation Institute* (Instituto de Conservación Getty, GCI por sus siglas en inglés) a través del *Getty Seismic Adobe Project* (Proyecto Sísmico en Adobe del Getty, GSAP por sus siglas en inglés) en los años 90; llevaron a cabo ensayos en mesas vibratoras

de modelos a escala con el fin de reproducir el tipo de daño observado en campo y comprobar así la eficacia de diferentes técnicas de estabilización sismo resistente para ser implementadas en construcciones de mampostería de adobe no reforzada. Estas técnicas basadas en la estabilidad, limitan el desplazamiento relativo entre los elementos estructurales y usan la gravedad como fuerza reparadora; son más respetuosas de la construcción original que las técnicas basadas en el reforzamiento estructural; y, son consideradas adecuadas para la seguridad de sus ocupantes, además de ser sensibles al valor histórico de las mismas.

Al promulgarse, en los últimos años, ordenanzas de legislación estatal y códigos locales de construcción con el fin de resolver el problema de construcciones históricas de mampostería no reforzada, la aplicación de técnicas de reforzamiento, para edificaciones históricas de adobe basadas en la estabilidad sismo resistente, ha ido ganando aceptación, tanto por parte de conservadores como de funcionarios de la construcción. Este trabajo aborda brevemente el desarrollo de medidas de estabilización sismo resistente, según lo desarrollado por el GSAP y luego presenta cuatro ejemplos de construcciones históricas de adobe en California, cuyos sistemas de estabilización sismo resistente se basan en estos principios.

# Seismic Retrofit Applications of Getty Seismic Adobe Project Technology to Historic Adobe Buildings

*E. Leroy Tolles*

## **Aplicaciones de la tecnología de estabilización sismo resistente del GSAP en construcciones históricas de adobe**

Este trabajo resume una serie de estrategias de estabilización sismo resistente diseñadas por el autor para edificaciones históricas de adobe en California. Esencialmente, los sistemas de estabilización están basados en los lineamientos que planteó el *Getty Seismic Adobe Project* (Proyecto Sísmico en Adobe del Instituto Getty, GSAP, por sus siglas en inglés) que el *Getty Conservation Institute* (Instituto de Conservación Getty, GCI por sus siglas en inglés) llevó a cabo en la década de los 90. Las edificaciones de adobe para las que se diseñaron éstas técnicas incluyen un edificio con muros gruesos de un piso; varias construcciones también de muros gruesos pero de dos pisos; una construcción de un piso, que data alrededor de 1920 y que fue construida con muros delgados; y, una casa de adobe en estado ruinoso. Los cinco edificios objeto de este trabajo presentan una amplia gama de aplicaciones de sistemas de estabilización sismo resistentes.

La única construcción con muros particularmente delgados es el pequeño edificio de Rancho Camulos. Esta edificación se construyó alrededor de 1920 y su estilo arquitectónico es muy distinto al típico edificio de adobe del siglo diecinueve, el cual está representado por los otros edificios mencionados en este trabajo. El resto de las construcciones históricas de adobe en general presentan muros que van de 0.5 m a 1.0 m (1.6 a 3.3 pies) de espesor.

Las técnicas de estabilización sismo resistente incluyeron el anclaje al nivel del suelo y del techo; varillas verticales al centro de los muros existentes y reconstruidos; y, tirantes verticales, cables y varillas horizontales para estabilizar aquellos muros de adobe severamente dañados.

El proyecto final es la estabilización de la construcción en estado ruinoso de un solo piso conocida como Las Cruces Adobe. La medida de estabilización utilizada se compone principalmente de una estructura ligera de acero con amortiguadores para reducir su tamaño, para evitar la caída de los muros de adobe que esencialmente se mantienen por su propio peso y sin conexión alguna entre ellos.

# Evolving Methodology in Seismic Retrofit: Stabilizing the Las Flores Adobe

*John M. Barrow, Douglas Porter, Stephen J. Farneth, E. Leroy Tolles*

## **Metodología sismo resistente en desarrollo: estabilización de Las Flores Adobe**

Por tres años, el Monumento Histórico Nacional Las Flores Adobe, construido en 1868, pasó por un proceso de estabilización sísmica y estructural. Ubicado en un área sísmicamente activa al sur de California en los Estados Unidos, este monumento es uno de los pocos complejos de edificaciones de dos pisos construidos en adobe con revestimientos en cal y tierra originales del siglo XIX que combinan los estilos Hacienda y Monterey, típicos del período hispánico del estado de California.

Desde 1970, estas construcciones se han venido deteriorando debido a su falta de uso. En el año 2000, se dio inicio a un proyecto de estabilización por etapas con la participación de un equipo multidisciplinario, con el objetivo de rescatar dichas construcciones. El equipo conformado por profesionales con experiencia en los campos de arquitectura, ingeniería y conservación elaboró un diseño que cumplió tanto con los requisitos mínimos de habitabilidad/seguridad como con los principios de conservación de éstas construcciones.

Se aplicó el California Historical Building Code (Código de Construcción para Edificaciones Históricas de California, CHBC por sus siglas en inglés) para el diseño e implementación de soluciones alternativas

basadas en el desempeño de la edificación durante un terremoto (California Building Standards Commission 1998a). El diseño de estabilización sismo resistente utilizado en este proyecto se basó en el programa de investigación *Getty Seismic Adobe Project* (Proyecto Sísmico en Adobe del Getty, GSAP por sus siglas en inglés) que fue desarrollado por el *Getty Conservation Institute* (Instituto de Conservación Getty, GCI por sus siglas en inglés) en la década de 1990. El rancho, o casa principal, y el garaje se estabilizaron entre los años 2002 y 2004 con diseños que aprovecharon el ancho de los muros, que en caso de un evento sísmico, disipan la energía generada durante la fase post-elástica. Estos sistemas de estabilización sismo resistente se consideran poco intrusivos ya que reducen la pérdida de material histórico utilizando barras, varillas y tirantes de acero enquistados en los muros de adobe y paneles de triplay para contrarrestar las fuerzas de corte, mejorando la continuidad estructural y evitar así la caída lateral de los muros de la edificación durante un terremoto. Las obras en el garaje hicieron uso de inyecciones de tierra para la instalación de varillas de refuerzo al centro de los muros. Este tipo de material para inyecciones es fácil de producir, es compatible con las construcciones históricas de adobe y es además reversible. El proceso constructivo incluyó además capacitación.