

LOS SISMOS Y LA RESTAURACIÓN DEL PATRIMONIO EN TIERRA EN PERÚ

III Congreso de Tierra en Cuenca de Campos, Valladolid, 2006

Pedro Hurtado Valdez
Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú.
ICOMOS, Perú

Característica sísmica del territorio peruano

A nivel geológico se puede afirmar que la corteza terrestre está dividida en placas, las cuales se desplazan sobre el manto de la tierra interactuando entre sí, siendo generadas y consumidas en los fondos marinos, produciendo a su vez el arrastre de los continentes¹. En las zonas de contacto entre ellas los diversos estratos pétreos se distorsionan por la presión ejercida acumulando energía, la cual al llegar a su límite de resistencia produce una ruptura y desplazamiento estratigráfico, con la consiguiente liberación de la energía en forma de ondas sísmicas.

La costa del Perú está situada frente a la placa de Nazca que se introduce por debajo de la placa Sudamericana a razón de 9 cm. al año² y cuya expresión superficial en la corteza es la fosa oceánica del Océano Pacífico localizada a 150 km. frente a la costa peruana. Esta zona de subducción da lugar a los mayores sismos superficiales de interplaca en el mar. Por otro lado en la costa se acentúa la inclinación y descenso de la placa de Nazca, ocurriendo los mayores sismos dentro de aquella a profundidades intermedias de 50-70 Km³. Estos movimientos geológicos son los responsables de terremotos de gran magnitud e intensidad ocurridos en la historia peruana.

Actualmente Perú tiene elaborado un mapa sísmico nacional dentro de su normativa edilicia, encontrándose la costa en la zona de mayor riesgo⁴. Paradójicamente es la región del país donde se manifestó un gran desarrollo de la arquitectura en tierra, habiendo condicionado los terremotos la búsqueda de alternativas constructivas sismorresistentes desde la antigüedad.

Técnicas constructivas sismorresistentes en tierra de época prehispánica

Las construcciones con tierra de época prehispánica, muestran en general muros poco esbeltos definiendo una relación entre el ancho y la altura inferior a 2, ligado a una marcada solución estructural de encuentros perpendiculares con otros muros, los cuales producían un mutuo arriostre. Esta proporción otorgaba una estabilidad mayor de los muros fuera del plano al oponer a los sismos la gran masa de su construcción, además que dentro de ellos se colocaba horizontalmente un dintel de cañas o de madera rolliza para formar hornacinas y las zonas donde concurrían grandes esfuerzos venían reforzadas interiormente con fibra vegetal dispuesta verticalmente permitiendo absorber tensiones que la tierra sola no podía hacerlo. En general la disposición de estratos horizontales y verticales elásticos reduce la frecuencia de la vibración al absorber gran parte de la energía liberada por el sismo, lo que supone, la reducción de los efectos provocados por las fuerzas horizontales que actúan sobre los elementos de la construcción aumentando considerablemente su ductilidad. Estas técnicas constructivas se encuentran ya tempranamente en Caral, al norte de Lima hace 5.000 años⁵.

Cuando se trataba de construcciones piramidales, éstas se efectuaban con gruesos muros de contención perpendiculares entre sí para asegurar su adecuado arriostre, los cuales eran realizados con adobes en aparejos dispuestos en ambos sentidos para garantizar una mejor trabazón. Las celdas formadas entre los muros se rellenaban con piedra y barro, para luego originar un nuevo nivel, disminuyendo en volumen hasta adoptar la figura piramidal. En este caso tanto la forma simple y compacta de la estructura general como la disposición de los muros definían una estructura prístina donde el centro de rigideces y el centro de masas no resultaban aleja-

dos entre sí, evitándose crear grandes excentricidades que pudiesen causar daños en las zonas más alejadas del edificio⁶.

Fuera de las edificaciones monumentales de adoratorios y palacios existieron construcciones domésticas, las cuales se realizaban con materiales ligeros a base de sencillos entramados de caña recubiertos con barro, que por su flexibilidad permitían disipar la energía sísmica.

El virreinato español y las construcciones sismorresistentes en tierra

Desde comienzos de la colonización hispana del Perú fue de uso común la piedra, el ladrillo y el adobe para levantar muros, bóvedas y cúpulas, con proporciones de diseño regidas por la experiencia constructiva española, acostumbrada a un ambiente de benignidad sísmica⁷. No obstante en el medio andino los daños producidos en los edificios por los terremotos obligaron a la experimentación permanente con el fin de encontrar repuestas fiables a la construcción, especialmente en altura.

Las primeras acciones consistieron en replantear las proporciones incrementándose el espesor de las paredes e incorporar contrafuertes cuando era posible. Sin embargo al aumentar el espesor de los muros se incrementaba también la masa en altura atrayendo mayores fuerzas de inercia por las elevadas aceleraciones que producen los sismos. Por su parte los contrafuertes no lograban estar lo suficientemente trabados con los muros, produciendo su separación y posterior daño por el efecto ariete entre ellos y los muros transversales.

La utilización de diversos materiales en los muros resultaba también inadecuada en un medio sísmico, debido a que la diferencia de materiales creaba microfisuración en las zonas de contacto entre ellas, por los diferentes coeficientes de dilatación térmica, a lo que se aunaba la discontinuidad de la dureza y rigidez entre ellos.

Fruto de la continua búsqueda de soluciones se optó por la utilización de un material que respondiese eficientemente a las variables tiempo y costo durante las labores de reconstrucción y que por su uso intensivo en la

estructura tuviese un comportamiento en lo posible homogéneo, de allí que se continuó a construir mayormente con muros de adobe a los cuales se agregaron morteros elásticos de cal o barro con paja. A nivel del planteamiento general los esquemas geométricos de distribución planimétrica se hicieron de forma sencilla por lo que el centro de masas y el de rigideces resultaban lo mas cercanos posibles.

Asimismo los constructores españoles cayeron en cuenta que las viviendas de los indígenas realizadas con madera rolliza, caña y tierra, por su flexibilidad resistían mejor al efecto de los terremotos. Pasos importantes en la definición de una nueva tipología constructiva significó la utilización de madera escuadrada y uniones de carpintería porque facilitaba su elaboración, junto al tejido de la caña con el fin de crear una membrana que distribuyese mejor los esfuerzos y la utilización de uniones flexibles que ayudasen a disipar energía sísmica⁸. Por su parte la yesería española permitió consolidar el sistema al otorgar la magnificencia buscada para sus edificaciones permitiendo un recubrimiento que luego imitaría la piedra o el ladrillo, conjugando la técnica andina con la europea y dando origen a la "quincha" virreinal.

Este tipo constructivo se basaba en un bastidor de madera dentro del cual se tejían cañas, relleno con barro y paja por ambas caras para colocarse un revoco final de cal o yeso. Los telares de tierra (quincha) pueden considerarse como un sistema estructural mixto que sigue la lógica del diseño de los materiales compuestos. En estos tipos de estructuras se pretende conseguir una combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales de manera independiente con el fin de lograr mejoras de resistencia, flexibilidad, etc. Por ejemplo durante siglos en la elaboración de unidades de adobe se ha empleado paja para reforzarlos, consiguiendo una mejor relación peso-resistencia, principalmente a tracción, a partir del principio de incorporar fibras en una matriz más blanda. El material de la matriz transmite la fuerza a las fibras, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. De igual forma a nivel ya del muro construido la colocación de refuerzos con cañas hacía que el conjunto aumentara notablemente su ductilidad. De aquí podemos inferir que los paneles de quincha con una mayor

proporción de materiales con fibras como la madera y la caña otorgaban un mejor comportamiento elástico a la estructura. Por otra parte la tierra constituye un buen aislante, debido a su bajo equilibrio de humedad de 0,4 a 6% en peso y a su alta capilaridad, haciendo que todos los elementos que formaban el telar no fueran atacados por insectos y hongos que necesitan una humedad mayor del 14% y 20% respectivamente para poder sobrevivir.

El sistema diseñado consistió en realizar la planta baja de los edificios en adobe, dejando para los niveles superiores el uso de la "quincha", permitiendo no solo la construcción de modestas viviendas sino la de palacios con sus altos miradores, cuerpos superiores de los claustros de conventos y torres de iglesias. La utilización de una técnica constructiva de gran flexibilidad permitió aumentar notablemente la ductilidad del sistema, lográndose edificar en altura sin menoscabar la resistencia de los muros de base.

La tipología de la quincha se adaptó también en la construcción de espacios abovedados. Estas bóvedas y cúpulas fueron construidas con armaduras de madera, formadas por piezas curvas que unidas a otras y desplazadas la mitad de su longitud formaban los arcos, otorgando menos empujes a los muros que las iniciales bóvedas de piedra y ladrillo. Incluso este empuje venía contrarrestado con el empleo de un relleno de adobe en el cuarto inferior de las bóvedas a fin de hacer más vertical la fuerza resultante y crear un pequeño diafragma en el sentido lateral de la estructura para absorber las fuerzas sísmicas en esta dirección. Todo el conjunto con sus sistemas de riostras y uniones formaba una retícula curva que no solo aseguraba la transmisión uniforme de cargas y empujes sino permitía la disipación de energía sísmica⁹.

El terremoto de 1746 que afectó Lima ocurrió a las 22:30 h, cuando la mayor parte de la población se encontraba en sus viviendas. La ciudad tenía cerca de 60,000 habitantes de los cuales fallecieron 1,141 personas. Tomando en cuenta la magnitud del sismo¹⁰ y la elevada destrucción producida se nota una baja incidencia de daños humanos. Una explicación se encuentra en el sistema estructural con el cual estaban edificadas las casas, que después del terremoto de 1687 se realizaron con la "quincha" para los pisos

superiores de menor peso y mayor flexibilidad. Durante el terremoto las viviendas sufrieron daños pero no llegaron a colapsar dando tiempo a sus ocupantes de ponerse a salvo. Esto ratificó en la práctica el buen desempeño sismorresistente del sistema constructivo utilizado.

Los problemas generados por los sismos en las estructuras históricas en tierra

A diferencia de los análisis que se efectúan para las construcciones modernas donde se da importancia a las variables de resistencia y rigidez del diseño, en las estructuras antiguas prima la consideración de estabilidad. Las antiguas directivas de diseño de fábrica se basaban en leyes geométricas de proporción que aseguraban la transmisión adecuada de los esfuerzos dentro de los límites físicos de la propia estructura, generalmente trabajando solo a compresión, sin la admisión de otros tipos de esfuerzos, por lo que era normal la aparición de fisuras. Sin embargo estos signos que expresan una natural forma de la estructura de adaptarse a su entorno¹¹, en un medio sísmico adquieren particular importancia debido a la forma y rigidez de la construcción en relación a las propiedades del terreno. Durante un sismo el edificio vibrará bajo su frecuencia natural y si ella es vecina a la del suelo, se producirá una resonancia dinámica y el daño estructural resultante será mayor. Las fisuras de la estructura cambiarán su frecuencia natural y aumentarán o disminuirán esta resonancia.

A pesar que la esbeltez de los muros esta de acuerdo con las proporciones geométricas para sistemas arriostrados, sus características constructivas resultan insuficientes cuando se trata de muros independientes, porque durante un terremoto los elementos mal conectados o independientes actúan como arietes, con características dinámicas propias y distinta vibración. Además se generan fuerzas de inercia de sentido horizontal contrario al movimiento del suelo provocando esfuerzos por flexión, momento y cortante, que actúan simultáneamente en cada uno de los muros.

En los diseños sismorresistente de las construcciones históricas se tomaba particular atención a trabar bien los muros utilizando maderos y perpiños que otorgaban continui-

dad a la estructura, ya que la ubicación de las fisuras, propia del comportamiento dinámico de los muros¹², se concentraban normalmente en los encuentros entre ellos y también con los contrafuertes. Además se buscaba impedir en lo posible la formación de un borde libre en los muros, porque los techos pesaban poco y eran flexibles, de tal forma que se colocaba un encadenado de madera como parte de la base de un telar de "quincha", balcón continuo de fachada o solera de apoyo de una bóveda de caña y tierra.

El terremoto sucedido en Moquegua (sur de Perú) en junio de 2001, permitió observar el derrumbe de muchos edificios del centro histórico realizados en tierra, sin embargo otros a pesar de ser antiguos y de similares características solo perdieron el revoco. La reflexión que surge de analizar porque edificios construidos con los mismos materiales, técnicas y antigüedad colapsaron y otros no, hace ver que la destrucción ocurrida no se produjo por un defecto de las técnicas constructivas sino por:

- Falta de mantenimiento, incluso con intención premeditada de provocar la ruina del edificio.
- Modificaciones de la construcción original, eliminando paredes, abriendo puertas y ventanas en los muros, con lo que no solo se reducía el área efectiva de sustento, sino principalmente se debilitaba la actuación del muro como arrioste de otros fuera del plano.
- Incorporación de sistemas estructurales no compatibles con la tierra, con mayor rigidez, funcionando como arietes contra las estructuras de tierra durante los sismos.
- Colocación de revocos de cemento que no permitían la ventilación del muro con lo que el aporte de agua dentro de la estructura se incrementaba considerablemente, produciendo inicialmente la separación del revoco de cemento y de la malla metálica colocada para unirla con la tierra, por oxidación de ésta, y luego pérdida de la capacidad portante del muro.
- Sellado de las pistas y veredas con asfalto y cemento, además de las filtraciones ocasionadas por roturas de las redes urbanas de escaso mantenimiento, evitando la natural evaporación del agua del subsuelo, por lo que aumentaba la humedad capilar en la

base de los muros, reblandeciéndolos y disminuyendo sus propiedades mecánicas.

- El incremento excesivo de humedad afectaba además a la madera, la caña y las cintas de cuero que unían el conjunto al encontrarse en un ambiente propicio al ataque de xilófagos y hongos, perdiendo la capacidad de trabajar a flexión.

La restauración de edificios en tierra en Perú con criterios sismorresistentes

Los criterios de intervención en el patrimonio edificado en tierra son de naturaleza diferente a los de construcción de arquitectura nueva, estos últimos generalmente nacidos bajo la bandera de la eficiencia ecológica en el uso de los materiales y la reducción de costos para viviendas sociales. Así los parámetros de intervención en el patrimonio obligan al mayor respeto por el comportamiento de la estructura original, procurando el mínimo efecto sobre la integridad histórica, garantizando la remoción de la intervención de mostrarse necesario, verificando la compatibilidad con la tierra y tratando de disminuir el daño estructural frente a los terremotos¹³.

El refuerzo de las construcciones con tierra en Perú se ha desarrollado de diversos modos, desde la sola utilización de métodos tradicionales hasta la incorporación masiva de materiales contemporáneos. Durante los años 70 y 80 se buscaba obtener la máxima duración posible del monumento con predominancia de elementos de refuerzos modernos para liberar la estructura original de los esfuerzos a los cuales estaba expuesta. Así en el convento de San Francisco de Lima, se incluyeron columnas de hormigón armado dentro de los muros de adobe, aunque se restituyeron las estructuras de madera, caña y tierra de las bóvedas. En la casa Jiménez en Lima, se cambió el forjado de madera y tierra por uno de hormigón armado con vigas en dos direcciones para crear un diafragma rígido. También en la casa de la Moneda la actuación incluyó cimientos, columnas y vigas en hormigón armado. En el palacio Osambela, se consideró introducir en los muros de adobe una estructura flexible de acero, creando zonas estáticas y dinámicas, con el fin de regular las deformaciones que se planteaban después de cada sismo.

Pero pronto se observó el problema de la compatibilidad de los materiales, es decir, a nivel mecánico la estructura más rígida dañaba a la más blanda, actuando como un ariete por efecto de las vibraciones durante los terremotos. A nivel físico químico incorporaban sales solubles a los muros de tierra además de impedir el normal intercambio de vapor de agua entre el interior y exterior del muro. Todas estas evidencias motivaron un nuevo acercamiento hacia la restauración de las construcciones en tierra, respetando la estructura original y utilizando técnicas y materiales tradicionales cuya eficacia ya había sido comprobada¹⁴. De esta forma en la restauración de la casa del Mayorazgo de Facalá en Trujillo y en la casa Aspíllaga en Lima, se decidió utilizar técnicas tradicionales para la reconstrucción de los muros de adobe dañados, agregando solo los elementos necesarios para garantizar la estabilidad como llaves de madera en las esquinas para absorber flexiones.

Métodos tradicionales de refuerzos sismo resistentes

Según las observaciones de daños ocurridos en Perú por efecto de terremotos y de los resultados de pruebas experimentales realizadas¹⁵, se concluyó que uno de los refuerzos antisísmicos más efectivos para construcciones en tierra era la colocación de un encadenado continuo en la parte superior de los muros. Es decir la solución ya aportada en época prehispánica con la inclusión de madera rolliza sobre los dinteles y durante el virreinato con la armadura de balcones y solera que unían estructuralmente el conjunto a nivel de los techos. Estos refuerzos horizontales son los más importantes, ya que al ocurrir las primeras fisuras verticales en los encuentros de los muros la fuerza del sismo tiende a separarlos y voltearlos, efectos impedidos por el encadenado que ancla las paredes al techo, incrementa la estabilidad fuera del plano y establece una continuidad en el plano de los muros. En la intervención de muros que carezcan de este elemento es recomendable hacerlo con un material compatible con la tierra a nivel mecánico y físico-químico como la madera o la caña.

En los muros fallados tanto en las esquinas como en los encuentros entre ellos se recomienda desatar los adobes de manera esca-

lonada hasta llegar cerca del suelo. Luego se colocan ramas de 1 a 2 cm. de diámetro, de fibra continua, suficientemente rectos y con muchos nudos, o en su defecto llaves de madera que permitan unir los muros y absorber esfuerzos de flexión en el momento de los sismos. Es oportuno usar los adobes retirados o vueltos a fabricar con la misma tierra de aquellos rotos, siempre y cuando no existan evidencias de material orgánico en pudrición, aunque es necesario mezclar con tierra nueva para reducir esta probabilidad.

Los métodos modernos y experimentales de intervención

En 1977 Perú contaba ya con una norma de diseño sismorresistente con recomendaciones para construcciones nuevas de adobe incluyendo valores de resistencia admisible a cortante. En 1985 ya se habían realizado pruebas de simulación sísmica de módulos de adobe con y sin refuerzo, además de contarse con información sobre el comportamiento sísmico de las construcciones de adobe. De aquí nace la iniciativa de la incorporación de refuerzos verticales de caña, llevado luego a la propuesta de tubos de plástico, nylon o fibra de vidrio, que parten desde el cimientado y se unen al encadenado con el fin de generar un comportamiento homogéneo de la estructura aumentando su ductilidad. No obstante su utilidad para edificios modernos, resulta complicado su uso en construcciones históricas, especialmente si existen pinturas murales o muros con un elevado valor documental como para ser desmontados y colocar dichos refuerzos.

Posteriormente convergen en la norma del año 2000 un proyecto de investigación de utilización de mallas de acero electro soldadas de 1 mm. de diámetro y $\frac{3}{4}$ " de espacio entre ellas como refuerzo en las esquinas, fijadas con conectores o clavos distanciados cada 5 cm. y recubiertos con mortero de cemento-arena. Este estudio también trató de incorporar sus resultados para estructuras históricas, sin embargo y a pesar que respondían bien a sismos moderados presentaban falla frágil y repentina ante movimientos fuertes, porque las partes reforzadas se comportaban rígidamente golpeando las zonas sin reforzar produciendo el colapso de la construcción en estos lugares. Además la incompatibilidad del revoco de cemento hacía que el muro no pudiera eva-

porar la humedad motivando la separación en el tiempo del muro y el revoco, con los consiguientes daños mecánicos que este fenómeno producía.

Junto a métodos tradicionales ha sido propuesto en la restauración de la iglesia de San Cristóbal de Rapaz la inclusión de cables de acero inoxidable para confinar los muros entre sí y evitar desplazamientos en la etapa de post-fisuración, con fuerte disipación de energía sísmica por fricción, con estabilidad en el plano¹⁶. No obstante aun queda por verificar si se muestra necesario regular constantemente los cables después de cada evento sísmico y su efecto con la tierra circundante.

En lo que respecta al aporte de las investigaciones recientes, la malla de polímero está tratando de ser incluida como material importante de refuerzo exterior, aplicable tanto a construcciones nuevas como históricas dentro de la futura norma peruana. El principio se basa en colocar un elemento capaz de contener al muro y distribuir los esfuerzos uniformemente. Sin embargo es importante recalcar que para que el sistema funcione bien se tendría que cubrir todos los muros de la edificación con estas mallas, de lo contrario se está generando zonas resistentes y zonas débiles, produciéndose el fallo en éstas últimas durante un sismo. Aquí encuentra nuevamente el inconveniente de encontrarnos ante vestigios valiosos que hagan inviable el desmontaje del muro original o la pérdida de estratos de tierra en éste.

El uso de otros materiales modernos como la fibra de carbono no constituye todavía una opción sismorresistente viable en el campo de la restauración, por su elevado costo y el estar aún sujeto a pruebas para ver su comportamiento real frente a los esfuerzos producidos por los terremotos y los efectos secundarios que pueda tener a largo plazo dentro del comportamiento de la estructura general¹⁷.

Como se ha observado las técnicas tradicionales de consolidación estructural para construcciones en tierra parecen ser aún las de mejor desempeño, aunque se muestra meritorio el que se haya abierto un campo de investigación para desarrollar técnicas modernas, cuyos resultados se deberán ver en el futuro.

Bibliografía

ARCE GARCÍA, IGNACIO. *Elementos y sistemas constructivos antisísmicos en la antigüedad, aplicación a la restauración de estructuras históricas. Actas del Primer Congreso Nacional de la Historia de la Construcción*, Instituto Juan de Herrera, Madrid, 1996

BARRETO ARCE, ALBERTO. *Las construcciones antiguas y los sismos. International Seminar: Architecture, Construction and Conservation of Earthen Buildings in Seismic Areas*, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2005.

GARCÍA ACOSTA, VIRGINIA. *Historia y desastres en América Latina. Red de Estudios Sociales de Prevención de Desastres en América Latina*, 1997.

HUERTA FERNÁNDEZ, SANTIAGO. *Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica. Instituto Juan de Herrera, Madrid, 2004.*

HURTADO VALDEZ, PEDRO. *Entre torres y balcones: La imagen urbana de Lima virreinal. En Patrimonio Iberoamericano II. Asociación Española de Gestores del Patrimonio Cultural. Madrid, España, 2005.*

HURTADO VALDEZ, PEDRO. *La restauración de edificios en tierra en zonas sísmicas. Actas del Congreso "Costruire con terra cruda oggi". Novi Ligure 2005. Edicomeditazione. Italia. 2006 (en prensa).*

HURTADO VALDEZ, PEDRO. *Estructuras abovedadas de quincha en le Virreinato del Perú. V Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra, Mendoza, 2006.*

Icomos – International Scientific Committee for Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage. *Recomendaciones para el análisis, conservación y restauración estructural del patrimonio arquitectónico. Icomos-ISCARSAH, Barcelona, 2005.*

Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda de Perú. *Construcciones en adobe, disposiciones especiales para diseño sismorresistente, Norma 6 NTE E.080 Adobe Perú. Ininvi, Lima, 2000.*

KEEFE, LAURENCE. *Earth building, methods and materials, repair and conservation. Taylor & Francis, New Cork, 2005.*

KUROIWA, JULIO. *Reducción de desastres. Viviendo en armonía con la naturaleza. Julio Kuroiwa, Lima, 2002.*

RODRIGUEZ CAMILLONI, HUMBERTO. *Quincha architecture, the development of an antiseismic structural system in seventeenth century Lima. Proceedings of the First International Congress on Construction History. Instituto Juan de Herrera, Madrid, 2003.*

SAN CRISTÓBAL, ANTONIO. *Diego Maroto, alarife de Lima, 1617 – 1696. Epígrafe S.A., Lima, 1999.*

TOLLES, E. LEROY; KIMBRO, EDNA E.; WEBSTER, FREDERICK A.; GINELL, WILLIAM S. *Seismic stabilization of historic adobe structures, final report of the Getty seismic adobe project. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2000.*

VARGAS NEUMANN, JULIO. *Proyectos de restauración con criterios de desempeño versus resistencia en Perú y Chile. International Seminar Architecture, Construction and Conservation of Earthen Buildings in Seismic Areas, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2005.*

WEBSTER, FREDERICK. *Application of stability-based retrofit measures on some historic and older adobe buildings in California. International Seminar Architecture, Construction and Conservation of Earthen Buildings in Seismic Areas, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2005.*

Notas al pie

¹ Según la Teoría de la Deriva de los Continentes expuesta en 1912 por Weneger, hace 200 millones de años los continentes formaban una sola masa que luego se fraccionaría definiendo los continentes existentes en la actualidad. Esta teoría encontraba su sustento en la continuidad biológica del pasado, verificado en restos fósiles de característi-

cas similares aparecidos en lugares muy distantes y con climas diferentes, además de la semejanza del borde occidental de África y la costa este de Sudamérica. La formulación de la Teoría de Expansión de los Fondos Marinos en 1963 permitió complementar la anterior, con la cual los geofísicos plantearon la Nueva Tectónica Global, según la cual la Tierra genera y consume constantemente nueva corteza. En el borde donde se generan las placas aparecen el dorsal oceánico (con sismos de

pequeña magnitud y actividad volcánica) y el de transformación (produciendo un movimiento horizontal a lo largo de la fractura). El extremo donde se consume se conoce como zona de subducción y se produce la acumulación de energía por la introducción de una placa debajo de otra.

² (Kuroiwa, Julio; 2002, p.98).

³ (Vargas Neumann, Julio; 2005, p.3).

⁴ (Norma Sismorresistente NTE 030-97, MTC/SEN-CICO, 1997).

⁵ El uso de cañas para armar hiladas se había dado también en otras partes del mundo como en Babilonia, atribuyendo At Aqaraf su uso a la dinastía kassita (S.XIII a.C.). Peters afirma que cada siete hiladas se disponía un estrato de hoja de palma. (Arce García, Ignacio; 1996, p.40).

⁶ Cuando el centro de rigideces (eje en torno del cual tiende a rotar la construcción) y el centro de masas (a través del cual pasa la fuerza sísmica) tienden a coincidir se evitan excentricidades que puedan ocasionar momentos de torsión evitando grandes esfuerzos de flexión en la estructura.

⁷ La península Ibérica no posee el riesgo sísmico de la costa occidental sudamericana, no obstante haber padecido los estragos del sismo de Lisboa en 1755, con una magnitud calculada en 8,6 en la escala de Richter. En Sudamérica el fenómeno de los terremotos son de breve periodicidad, como lo demuestran los registros de incidencias sísmicas de muchos observatorios del continente.

⁸ Se utilizaba en las uniones cintas de piel de animales. La técnica permitía realizar uniones entre maderos sin llegar a dotarlas de demasiada rigidez, por lo que podían absorber y disipar energía en el caso de sismos. La ligazón se realizaba estando las cintas aún húmedas, las cuales al secar conferían la presión necesaria.

⁹ Este sistema difiere del planteado por Philibert de L'Orme en 1561 en su "Traité d'architecture: nouvelles inventions pour bien bastir et à petits fraiz" realizado con segmentos de arco unidos con clavijas de madera, no sólo a nivel de su ejecución sino principal-

mente por la búsqueda de un modo efectivo de resistir a los sismos.

¹⁰ La magnitud del terremoto de 1746 ha sido calculada en 8,4° en la escala de Richter, habiendo producido una intensidad de X-XI en la escala modificada de Mercalli (García Acosta, Virginia, 1997, p.12).

¹¹ (Huerta Fernández, Santiago, 2004).

¹² El problema del "borde libre" radica en que el momento negativo y el corte provocan fisuras cerca de las esquinas, mientras el momento positivo genera grietas en el centro cuando actúa fuera del plano. Eventualmente los muros quedan separados entre sí y se vuelcan cuando quedan en voladizo con una fuerza de inercia actuando perpendicularmente al plano.

¹³ Recomendaciones de Icomos – International Scientific Committee for Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage; 2005.

¹⁴ Barreto menciona que en el control efectuado a sus trabajos de restauración con técnicas tradicionales hace más de 30 años, no han encontrado mayores fallas o alteraciones en los edificios restaurados (Barreto Arce, Alberto, 2005). Por otro lado queda aún vigente el discurso de mantener las técnicas tradicionales como patrimonio inmaterial a salvaguardar.

¹⁵ Ensayos realizados desde los años 70 en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Lima y en el laboratorio de estructuras del CISMID de la Universidad Nacional de Ingeniería.

¹⁶ (Vargas Neumann, Julio, 2005).

¹⁷ Algunos ensayos han dado buenos resultados en obras modernas, sin embargo se debe tomar estas técnicas con la precaución debida, principalmente frente a su real desempeño con el paso del tiempo (fatiga del material, incompatibilidades estructurales y físico químicos, etc.). Se debe recordar los efectos negativos que generó la utilización de materiales modernos como el silicato de etilo en la consolidación de muros de tierra en Chan Chan (Perú), que con el paso del tiempo produjo el desprendimiento de la base de la pintura mural de las zonas donde se colocó.