



## Comportamiento sísmico

de viviendas tradicionales de adobe,  
situadas en las faldas del volcán Popocatepetl, México.

### Ph. D. Luis Fernando Guerrero Baca

*Arquitecto, Maestro en Restauración, Doctor en Diseño con Especialidad en Conservación. Profesor-Investigador y Jefe del Área de Conservación y Reutilización del Patrimonio Edificado en la UAM-Xochimilco. Miembro del SNI con Nivel 2.*

*Autor del libro *Arquitectura de Tierra en México* (1994, UAM-A) y editor de los *Anuarios de Arquitectura* (de 1999 al 2009, UAM-A); editor de los libros *Patrimonio Construido con Tierra* (2007, UAM-X); *Reutilización del Patrimonio Edificado con Adobe* (2014, UAM), y *Arquitectura de Tierra en América Latina* (2016, ARGUMENTUM).*

*Miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA. Miembro de la Cátedra UNESCO "Arquitecturas de tierra, culturas constructivas y desarrollo sostenible".*

## Comportamiento sísmico de viviendas tradicionales de adobe, situadas en las faldas del volcán Popocatepetl, México.

*Seismic performance of traditional adobe houses located on the slopes of Popocatepetl volcano, Mexico*

Fecha de recibido: 01 de agosto de 2018

Fecha de aceptación: 25 de noviembre de 2018

Fecha de disponibilidad en línea: 01 de enero de 2019

### Resumen

Durante los años noventa, en la Universidad Autónoma Metropolitana de la Ciudad de México se desarrolló una serie de investigaciones sobre la arquitectura de adobe localizada en la región aledaña al Eje Volcánico, en el centro del país, con el objeto de caracterizar los diversos componentes estructurales que permitieron su permanencia secular a pesar de encontrarse en una zona de alta sismicidad. En septiembre del 2017 tuvieron lugar dos fuertes terremotos que impactaron parte importante de la República Mexicana. A diferencia de eventos telúricos de décadas anteriores, que afectaron principalmente edificios modernos en altura, en esta ocasión la mayoría de los daños se presentaron en templos monumentales y en obras domésticas precarias. Esta situación ha permitido confrontar la información recabada en el área de estudio, a fin de verificar el comportamiento que tuvieron las viviendas tradicionales. En el presente texto se exponen los resultados preliminares de un proceso de análisis tipológico, tanto de los efectos sufridos en las viviendas de adobe de cinco poblados fuertemente afectados, como de la respuesta de los componentes estructurales identificados hace 25 años. Se ha podido concluir que las viviendas tradicionales de adobe de uno y dos niveles, que mantuvieron inalterada su tipología original y que recibieron procesos de mantenimiento, tuvieron daños mínimos en comparación con las que fueron modificadas mediante supuestos refuerzos realizados con materiales industrializados. Esta evidencia permite valorar las respuestas tecnológicas tradicionales basadas en el uso de materiales naturales, a fin de que puedan ser

retomadas para la reparación y reforzamiento de las viviendas dañadas, así como para el diseño sostenible de espacios que garanticen la seguridad de sus habitantes, a partir del uso racional de los recursos locales y la recuperación de saberes de origen ancestral.

**Palabras clave:** Sostenibilidad, tradición constructiva, sismos, resistencia estructural, sistemas flexibles.

### Introducción

La edificación tradicional es una muestra de sostenibilidad, que manifiesta el equilibrio entre la forma de vida de sus habitantes y el medio natural en que está inserta. Se trata de estructuras localizadas en todo tipo de contextos geográficos, que han probado su eficiencia al haber resistido, desde tiempo inmemorial, el impacto de huracanes, tornados, heladas y terremotos.

Sin embargo, muchas obras de origen vernáculo no han recibido la atención necesaria por parte de académicos e instituciones encargadas de la conservación patrimonial, porque se suele pensar que no cuentan con los méritos necesarios para ser preservadas. Incluso, sus propios habitantes tienden a considerarlas un símbolo de pobreza y retraso, y buscan cambiarlas por todos los medios a su alcance.

Estos hechos, asociados al decrecimiento del número de artesanos portadores de saberes vernáculos, derivado de los cambios demográficos de décadas recientes y del exponencial consumo

de materiales industrializados de construcción, han hecho que una parte importante de las viviendas tradicionales, cotidianamente se altere o demuela.

Esta pérdida no sólo conlleva una merma en el acervo de la memoria material de los pueblos, sino también implica la paulatina desaparición de los saberes tradicionales que la han sustentado a lo largo de la historia.

Ante esta compleja situación, a partir de 1993 un grupo de profesores de la Universidad Autónoma Metropolitana, nos dimos a la tarea de estudiar específicamente la edificación doméstica de adobe localizada en torno a la Sierra Nevada, en el centro de la República Mexicana, con el fin de identificar los diversos componentes y relaciones tipológicas que habían permitido su supervivencia secular, a pesar de la vulnerabilidad de su región de implantación.

Se trata de zonas que, además de estar afectadas por las fallas tectónicas del Océano Pacífico, cotidianamente tienen vibraciones derivadas de tremores que genera el volcán Popocatepetl, el cual tiene actividad intermitente desde hace milenios.

A pesar de esta condición geográfica y de afectaciones climáticas, como los drásticos cambios de humedad y temperatura cotidiana, la presencia de lluvia, granizo y heladas, las obras vernáculas de esos territorios han permanecido sin grandes cambios.

Los estudios realizados permitieron identificar factores cuyo comportamiento integral hacía suponer que obedecían a condiciones sismorresistentes. Estos componentes se vinculaban con la materialidad de las obras, sus relaciones espaciales, emplazamiento, dimensiones, refuerzos y sistemas de cubierta, y no evidenciaban daños a pesar de la fuerza ejercida durante siglos por los agentes naturales de deterioro (Figura 1).



Figura 1. Viviendas tradicionales documentadas en 1996. Ayapango, Estado de México.

Sin embargo, como consecuencia de los sismos que impactaron a México el 7 y 19 de septiembre del 2017, en todo el país surgieron voces que opinaron que una parte importante de las pérdidas materiales sufridas en el medio rural eran consecuencia de la edificación tradicional. Se dijo que las viviendas autoconstruidas con materiales “precarios como el adobe” habían sido las más dañadas, y que era peligroso seguir habitándolas y desaconsejable reconstruirlas utilizando nuevamente componentes constructivos de tierra.

Así, a pocas horas de ocurridos los eventos telúricos, instancias gubernamentales de los tres órdenes de gobierno se dieron a la tarea de emitir dictámenes de demolición de viviendas tradicionales y de transmitir a sus habitantes la idea de que era necesario reconstruirlas con “materiales modernos que garantizaran su resistencia” (Israde, 2017a). Pero, en el polo opuesto, algunos grupos de académicos y ONGs, conscientes de los valores patrimoniales de estas obras, desde el punto de vista económico, ecológico y cultural, consideraron que era necesario evitar la destrucción de las estructuras dañadas, y se dieron a la tarea de buscar estrategias basadas en los saberes constructivos antiguos, para su reparación y conservación.

En diferentes puntos del centro y sur del país, estos colectivos han llevado a cabo acciones para la sensibilización de los habitantes sobre la necesidad de evitar la destrucción masiva de su patrimonio y de recuperar sus espacios por medios tradicionales (Israde, 2017b). Bajo esa línea de acción, se acudió nuevamente a la región estudiada desde los años 90, a fin de realizar el dictamen de los inmuebles de adobe, y contar así con elementos para verificar el comportamiento de los componentes tipológicos analizados originalmente. Se buscaba identificar tanto su



Figura 2. Viviendas tradicionales documentadas en 1996. Ayapango, Estado de México.

nivel de éxito ante los recientes sismos, como las posibles fallas que hubieran presentado (Figura 2).

### El área de estudio

La zona que se analizó hace 25 años se localiza entre los límites de las entidades federativas de Morelos, Puebla y Estado de México, en el centro del país. Se trata de establecimientos semirurales emplazados en las laderas de la cordillera denominada Sierra Nevada, en la que destacan, por su dimensión y relevancia histórica, los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl, con más de 5000 metros de altura sobre el nivel del mar.

Los vestigios arqueológicos estudiados a la fecha, han permitido saber que la zona ha tenido una ocupación humana permanente desde épocas muy remotas, y que ha contado con destacadas aldeas de la cultura Olmeca fechadas al menos alrededor del año 1500 a.C. La abundancia de recursos naturales y la estabilidad de sus condiciones climatológicas hicieron que el territorio tuviera un constante arribo de culturas, sobre todo aquellas que provenían de migraciones del norte del país, a las cuales se les conoce como culturas Nahuas.

Para el siglo IX, estas comunidades habían conformado una estructura social caracterizada por continuas luchas por una comarca que progresivamente adquirió notable importancia estratégica, por ser el cruce de los caminos hacia las costas del Pacífico y el Atlántico.

A partir del siglo XIV, en que el imperio Azteca o Mexica cobró fuerza, la región se convirtió en paso obligado de comunidades que les rendían tributos, así como lugar de descanso de peregrinaciones rituales. Con base en diversos estudios se sabe que a la llegada de los españoles había una densidad de población notablemente elevada (López, 1987:34).

Parte del área de estudio le fue encomendada a conquistadores destacados, como sucedió con las zonas bajas que formaron parte del extenso territorio del Marquesado de Oaxaca, otorgado a Hernán Cortés. Sin embargo, varios de los pueblos indígenas locales –probablemente por motivos estratégicos para el gobierno virreinal– siguieron teniendo formas de gobierno propio, designado por elección popular.

Esta singular condición, incluso continúa vigente hasta la fecha en el poblado de Hueyapan, que es uno de los analizados en este texto. Aunque tiene un gobierno municipal y una estructura integrada a la Federación, las decisiones son tomadas a través del sistema de “Usos y Costumbres”, en asambleas en las que muchos asistentes continúan hablando la lengua náhuatl originaria.

Los monasterios a cuya periferia se hizo la reducción de los asentamientos indígenas para conformar los poblados que hoy conocemos, fueron construidos por misioneros franciscanos, agustinos y dominicos entre 1534 y 1560 (Estrada, 1983: 17). La importancia histórica de estos monumentos a escala regional, y desde su singularidad constructiva, los hizo acreedores en 1994 a ingresar en la Lista de Patrimonio Cultural de la Humanidad, como una ruta bajo la denominación de *Earliest 16th-Century Monasteries on the Slopes of Popocatepetl* (<http://whc.unesco.org/en/list/702>).

Por desgracia, dicha declaratoria se centró únicamente en los conjuntos monásticos, pero dejó de lado la estructura urbana a su alrededor, la cual estaba conformada por singulares obras vernáculas de adobe. Este “olvido” ha provocado que en pocas décadas se hayan perdido estas obras casi en su totalidad, para ser substituidas por inmuebles modernos realizados con materiales industrializados, sin respeto alguno hacia el contexto patrimonial.

Con respecto a las condiciones telúricas de la región, es importante señalar que la mayor parte de los sismos de gran intensidad que se manifiestan en el altiplano central de la República Mexicana, se originan en la zona de subducción del Océano Pacífico. Se trata de un área de choque y superposición entre la placa tectónica de Cocos y la placa continental (que recorre toda la costa mexicana hasta la frontera con Guatemala).

La Placa de Cocos se mueve del fondo marino hacia el continente, pero como su desplazamiento no es continuo sino que se desarrolla con pausas, la energía se acumula en la zona de contacto hasta momentos en que repentinamente se desliza, generando sismos. Lógicamente, entre mayor sea la energía acumulada, la potencia de los eventos telúricos se intensifica. Aunque los epicentros de los terremotos se ubican relativamente lejos y a notable profundidad, en los valles centrales

de México se manifiestan como movimientos oscilatorios horizontales de período largo.

En el siglo XX, ocurrieron en la costa de México treinta y cuatro eventos con magnitudes mayores a siete. Entre estos sismos destacan los de Abril/1907 con 7.9 grados, Junio/1911 con 7.8 grados, Marzo/1928 con 7.7 grados, Junio/1928 con 8.0 grados, Octubre/1928 con 7.8 grados, Junio/1932 con 8.4 grados, Abril/1941 con 7.9, Julio/1957 con 7.7 grados, Marzo/1979 con 7.6 grados y Septiembre/1985 con 8.1 grados. ([www.ssn.unam.mx/SSN/Doc/Sismo85-6.htm](http://www.ssn.unam.mx/SSN/Doc/Sismo85-6.htm))

Pero además de estos fenómenos de gran intensidad, de manera cotidiana se presentan temblores de origen local a lo largo del Eje Neovolcánico Mexicano. A diferencia de los terremotos de origen oceánico, que son sentidos con efectos oscilatorios de período largo, los sismos locales se presentan como una fuerte sacudida vertical casi instantánea, seguida por vibraciones rápidas de muy corta duración.

Esta información sobre la sismicidad regional es clave para evidenciar que seguramente los habitantes locales hicieron posible la pervivencia de sus construcciones, a partir de atávicos ensayos que les permitieran desarrollar soluciones que fueran capaces de resistir sin grandes afectaciones, durante cien o doscientos años.

### Los sistemas murarios

En el estudio realizado en la zona hace 25 años, fue posible observar que no existía un patrón definido en la localización de las viviendas de adobe como parte de la estructura urbana de los poblados. Las viviendas se encontraban tanto en las plazas centrales como en la periferia. Un rasgo que las caracteriza, que es una herencia de su origen prehispánico y vocación rural, es la ubicación dispersa de las unidades funcionales

dentro de los predios, cada una de las cuales tiene un volumen compacto y una geometría regular.

Los terrenos poseen normalmente entre 3 y 6 de estas unidades, las más importantes casi siempre alineadas a la calle. Los espacios abiertos intermedios suelen tener funciones asociadas a las actividades agrícolas que son la base de la economía regional. Se destinan a zonas de labor, corrales, graneros, hortalizas y aperos. También los lavaderos, tendaderos y letrinas se ubican en torno a estos espacios abiertos (Figuras 3 y 4).

Las fachadas alineadas a las calles normalmente no presentan puertas ni ventanas, sino que éstas abren hacia el interior de los predios. Desde la calle se accede al patio central, el cual articula las circulaciones y recibe la vista de todas las fachadas de los espacios habitables.

Las unidades funcionales que se estudiaron poseen una forma simple que parte de una planta rectangular, cuyo lado corto tiene dimensiones que oscilan entre los 3 y 4.8 m. El lado largo del rectángulo rara vez duplica la longitud del lado corto, y suele rondar entre los 5 y 8 m.

De este modo, cuando se presenta un sismo, cada núcleo resiste gracias al equilibrio de empujes derivados de lo compacto de la forma

cuadrangular de las plantas. Es poco frecuente que existan divisiones interiores en los espacios, y cuando las hay, los muros son también de adobe con una altura que no llega a la cubierta, por lo que no reciben cargas estructurales. Éstas se reparten de manera armónica sólo en los muros perimetrales.

Un factor de diseño que caracteriza la edificación vernácula, radica en el cuidado de la jerarquización y distribución de masas de los componentes edificados. Las zonas bajas de los edificios se construían con materiales de mayor densidad y peso, mientras que las superiores, se realizaban con componentes ligeros y flexibles.

De este modo, se consigue desplazar el centro de gravedad del inmueble hacia la parte baja de la estructura, con lo que se disminuye la posible afectación de los esfuerzos sísmicos que suelen tener mayor intensidad en el sentido horizontal (Dipasquale, Omar & Mecca, 2014).

Las cimentaciones son de mampostería de piedra volcánica y poseen zócalos que sobresalen del nivel natural de piso entre 40 cm y 1 m, a fin de brindar protección a las bases de las paredes de la humedad y el desgaste.

Los adobes de los muros tienen dimensiones variables en función a su época de construcción.



Figuras 3 y 4. El patio central rige la distribución de las casas. Tetela del Volcán, Morelos.

Los más antiguos miden aproximadamente 48 x 32 x 12 cm, mientras que en las viviendas más recientes –construidas entre 1920 y 1950– las dimensiones son un poco menores, oscilan en torno a los 40 x 28 x 8 cm.

Las arcillas locales tienen una alta plasticidad y cohesión, por lo que con una dosificación relativa del 6 al 10%, se elaboraban adobes sumamente densos y con resistencias a la compresión comparativamente elevadas, las cuales fluctúan entre los 8 y 16 kg/cm<sup>2</sup>.

Históricamente la tierra ha sido estabilizada mediante la estrategia del entramado con fibras, para la cual se utilizaban acículas de pináceas, generalmente de la especie *Pinus montezumae*, en proporciones aproximadas de 10 a 15%, en volumen. Los adobes se colocaban en aparejos a sogá, por lo que los muros presentan espesores de 28 a 32cm.

Debido a que los habitantes desarrollan una parte importante de sus labores cotidianas al aire libre, los espacios destinados al descanso, actividades sociales, preparación y consumo de alimentos normalmente no poseen ventanas, y cuando éstas se han incorporado, tienen dimensiones pequeñas.

Esta condición resulta altamente conveniente como solución sísmica, debido a que los muros transmiten los esfuerzos de manera continua, sin concentraciones de esfuerzos y así desarrollan respuestas más estables (Figuras 5 y 6).

Los vanos para puertas y ventanas cuentan con dinteles de madera de sección rectangular que se empotran a las jambas, en una dimensión equivalente a una tercera parte del vano. Por ejemplo, ventanas de 90 cm de apertura tenían dinteles de 1.5 m de longitud, porque a cada lado cuentan con un empotre de 30 cm.



Figuras 5 y 6. La masividad de los muros los hace muy estables. Hueyapan, Morelos.

Existía la tradición de revocar los muros solamente en sus caras interiores, especialmente en los locales principales, como salas y recámaras. Algunas viviendas antiguas, sobre todo las que fueron habitadas por vecinos con menores recursos económicos, tienen restos de revoques de tierra que se solían encalar a base de lechadas de color natural. Pero una parte importante de las casas conservan enlucidos de cal y arena igualmente protegidos con encalados que eran teñidos mediante la adición de pigmentos minerales, generalmente en colores ocres. A veces, estos espacios tenían decoraciones con motivos vegetales, sobre todo en torno a los dinteles y las jambas de puertas y ventanas. Sin embargo, en las superficies exteriores de los muros se dejaban los paños expuestos sin revoque alguno. La calidad de la materia prima, el proceso de elaboración de los adobes y la protección de los aleros de las cubiertas, han permitido que la arquitectura resista de manera sorprendente a la lluvia, viento, heladas y granizo.

### Techos y tensores

Los muros que configuran una envolvente en forma de prisma rectangular, están protegidos por una alta techumbre a dos vertientes, cuya

cumbrera está alineada al eje longitudinal. Su inclinación suele ser muy pronunciada y cuenta con aleros que se extienden más allá de los muros que la sostienen. En estos elementos el ángulo de la cubierta se quiebra ligeramente hacia arriba para facilitar la circulación en torno a la casa, en una especie de corredor a cubierto. La altura del piso al alero va de los 2.2 a los 4.2 m, y hasta la cumbrera oscila entre los 4.8 y los 6.2 m.

Aunque la mayoría de los espacios poseen un solo nivel y un ático, existen varios ejemplos de desarrollo en dos y tres pisos que, al igual que el resto de las obras estudiadas, asombran por su resistencia a eventos telúricos seculares.

Las cubiertas, además de cumplir con la función básica de protección de la lluvia, constituyen el mecanismo clave de resistencia estructural desde el punto de vista de la reacción del conjunto ante los sismos. Un componente esencial del sistema de cubierta son las soleras de arriostre que coronan los muros longitudinales y que, además de permitir la distribución uniforme de las cargas concentradas provenientes de las armaduras de la cubierta, establecen un puente que permite la transición entre el comportamiento flexible de la madera y la relativa rigidez de los adobes (Figura 7).



Figuras 7, 8 y 9. Los arriostres y pares interactuaban por fricción. Alpanocan, Puebla.

Estos arriostres que corren sobre los muros longitudinales, se conectan entre sí en sus extremos mediante los pares de vigas que descansan sobre los hastiales. Así, se establece una continuidad de esfuerzos horizontales que además permite confinar la parte alta de los piñones, conteniendo sus posibles oscilaciones perpendiculares al plano (Figura 8).

Los pares de vigas que bajan diagonalmente de la cumbrera y que conforman los tijerales que soportan la cubierta, poseen secciones de 10 x 10 cm. No se fijan a las soleras de arriostre, sino que van “simplemente apoyadas” para evitar afectaciones derivadas de leves cambios de dimensión de la madera, como consecuencia de variaciones de humedad y temperatura. Los tijerales presentan separaciones que oscilan entre 60 y 80 cm (Figura 9).

En ocasiones, estas vigas conservan la sección circular de los troncos que les dieron origen, y reciben el nombre de morillos. Este sistema de libre movilidad de las piezas es consistente con la visión dinámica del conjunto, en la que se trata de evitar rigidizar las estructuras con el fin de que los sismos las sacudan dentro de cierto límite y se disipe la energía telúrica. Incluso, estos pares no están anclados ni ensamblados a las vigas horizontales o tensores, como sucede en las armaduras de tijera convencionales.

Acorde con esta lógica, la cumbrera no posee longitudinalmente ninguna viga que mantenga unidos los vértices superiores de los pares, como ocurre en la mayoría de los ejemplos de este sistema de techado con armaduras de “par y nudillo”. Las vigas del par se ligan, en su parte alta, mediante una muesca que las ensambla parcialmente y que luego se articula con clavos o pernos, conservando cierto grado de libertad de movimiento.

Sobre esta serie de pares de vigas o morillos se clavan las camas de largueros o correas de madera que, además de mantenerlas unidas,



Figuras 10 y 11. La pendiente del techo da lugar a la “troje”. Hueyapan, Morelos.



Figuras 12 y 13. Las vigas y tirantes que ligan los muros, Ayapango, Estado de México.

soportan al tejado. Tienen una separación entre 25 y 30 cm, y van colocados de manera paralela a los muros longitudinales.

Las tejas que conforman la cubierta final son planas, y tienen forma rectangular con

dimensiones aproximadas de 30 por 45 cm. Su remate inferior puede ser recto, curvo o mixtilíneo, dependiendo de la tradición de cada localidad (Figura 10). Para mantenerse en su sitio, en el extremo superior de sus caras internas tienen unas pequeñas salientes o codos que se enganchan a las correas, quedando colgadas sólo por este punto.

Es importante aclarar que para sujetar las tejas no se utiliza ningún tipo de mortero, por lo que éstas se mantienen en su sitio por su propio peso, simplemente colgadas desde las salientes mencionadas y apoyadas sobre las capas de tejas laterales e inferiores. Se trata de una variante simplificada de las “tejas marsellesas” pero que, en este caso, parece estar asociada también al principio de disipación de la energía sísmica por fricción y su consecuente generación de calor.

Otro componente destacado de la techumbre lo conforma una superficie horizontal de duelas de madera que se asienta sobre las vigas horizontales de la cubierta. Para los espacios interiores constituye una especie de cielo raso, pero además, en la parte superior genera un ático al que se conoce regionalmente con el nombre -de origen en lengua náhuatl- de “tapanco”. A este espacio de trabajo, granero y guardado de enseres de labranza se le denomina “troje”, y se accede desde las habitaciones mediante una escalera de mano, a través de una escotilla (Figura 11).

La presencia de esta “troje”, además de su uso práctico como área de almacenamiento, es fundamental por diversas razones. En primer lugar, sirve como un aislante térmico entre la superficie del tejado y el interior de las habitaciones, es decir, es una cámara que controla el movimiento del aire procedente del exterior del techo.

Los hastiales que delimitan los extremos de este ático, a veces poseen pequeñas ventanas a manera de celosías. La posición opuesta de estas aberturas hace posible el flujo de ventilación

cruzada, con lo que se propicia el funcionamiento de la cámara de aire, permitiendo, además, el secado de frutas y granos. Estos vanos poseen gran variedad de diseños que le dan singularidad a las estructuras, que en otros aspectos son muy semejantes. Sin embargo, la función más destacada del plano del “tapanco” de madera, con relación a la estructura, deriva de su trabajo como sistema de diafragma que reparte los posibles empujes laterales derivados de sismos en la corona de los muros (Figura 12).

Pero, al igual que el resto de la cubierta, mantiene un comportamiento articulado que deriva del hecho de que las tablas que lo conforman están sueltas para permitir su libre movimiento.

Finalmente, los edificios cuentan con un recurso adicional de resistencia a la tensión que constituye un componente clave del sistema constructivo. Se trata de una serie de vigas transversales al sentido largo de los espacios, que se colocan paralelamente cada dos o tres metros aproximadamente. Estas piezas cumplen la función de tirantes que mantienen unidas las partes altas de los muros longitudinales que, como se sabe, son las zonas más susceptibles al volteo como consecuencia de las oscilaciones telúricas.

Estos tensores atraviesan los muros y cuentan con pasadores de madera llamados “clavijas”, que traspasan verticalmente sus cabezales (Figura 13). Al fijarse de este modo los tirantes a las caras externas de las fachadas, se restringe el movimiento del conjunto y se evita la posible separación de los muros.

### **Efectos de los sismos**

A raíz de los terremotos recientes se pudo comprobar la eficiencia de estos recursos constructivos desarrollados en tiempos remotos y depurados progresivamente. Durante las semanas

siguientes al sismo del 19 de septiembre, se recorrieron los poblados de Alpanocan, Ayapango, Huayapan, Ocuituco y Tetela del Volcán, y se tomó la mayoría de las fotografías que acompañan al presente texto. Como se puede observar en ellas, las viviendas tradicionales que preservaban sus sistemas originales, no sufrieron daños. Algunos deterioros menores incluso mostraban rastros de haber sido producto de eventos telúricos añejos, porque tenían evidencias de reparaciones anteriores. Dentro de varias fisuras y grietas de muros, había polvo, basura, y hasta telarañas que ponían de manifiesto que se trataban de deterioros preexistentes.

Un problema elemental que se pudo observar en el estudio, fue la falta de mantenimiento de gran parte de las estructuras tradicionales. En los puntos en los que tiempo atrás se habían desplazado o perdido tejas, se tuvieron infiltraciones de lluvia que debilitaron zonas de los adobes. En otros casos, los componentes de madera que se mojaban y no tenían posibilidad de secarse se pudrieron y fueron habitados por fauna nociva que también afectó su integridad material. Ese fue el caso de muchas clavijas de tirantes, así como de los extremos de los pares y largueros de los techos.

Pero a pesar de estas afectaciones menores, llama poderosamente la atención el hecho de que mientras que en estos poblados colapsaron cientos de viviendas realizadas con materiales industriales convencionales, las casas de adobe que mantuvieron el trabajo orgánico de sus sistemas estructurales se conservaron prácticamente íntegras.

Un factor que resultó sumamente aleccionador, deriva de la importancia de la interacción de los componentes de este tipo de soluciones tradicionales. No es una cuestión sólo de materiales o tecnologías específicas, sino de la acción en red de las piezas de los sistemas. Los terremotos derribaron lo mismo viviendas de

piedra, ladrillo, block de cemento y adobe, pero en todos los casos se trataba de estructuras con profundas fallas de diseño que, para colmo, habían sido paulatinamente alteradas (De Anda, 2017).

Esta parece ser la principal causa de los destrozos de estos sismos. Las viviendas tradicionales de la región sobrevivieron al tiempo por estar bien construidas y por mantener su unidad. Cuando las familias requerían de más espacios porque crecían o se incrementaba su producción, simplemente edificaban más habitaciones aisladas –similares a las preexistentes– en diferentes partes de los extensos predios.

Pero el crecimiento demográfico de las últimas décadas y, sobre todo, el desarrollo económico derivado de la llegada de remesas de familiares que migran a trabajar a ciudades vecinas o a los Estados Unidos, alteraron dramáticamente ese equilibrio secular. Por una parte, el parcelado se fue fraccionando para ser heredado a hijos y nietos, o bien para ser vendido. Pero además, los habitantes han empezado a sobresaturar sus terrenos con locales añadidos a los anteriores, realizados con materiales incompatibles con el adobe.

En otros casos, las habitaciones fueron subdivididas con muros realizados con block hueco de cemento, anclados a las paredes antiguas con columnas de hormigón armado, con lo que el reparto de esfuerzos se vio radicalmente alterado.

También, se observó que gran parte de las viviendas colapsadas había perdido masa edificada de sus muros al haberse colocado una gran cantidad de ventanas, muchas de ellas de grandes dimensiones y con dinteles mal empotrados.

Igualmente, en un alto porcentaje de las viviendas, los techos tradicionales de teja fueron substituidos con losas de concreto armado,



Figura 14. Crecimiento desordenado e incorporación de obras ajenas. Hueyapan, Morelos.

incluso incrementando el número de niveles desplantados sobre muros cuya relación de esbeltez no era capaz de soportar.

Fue frecuente que para estos casos se colocaran “refuerzos” verticales, tanto en las esquinas de las habitaciones como intercaladas en los muros, con lo que se perdió su unidad estructural. Tanto las losas de concreto como dichos refuerzos verticales, constituyen las principales causas de los colapsos de edificios tradicionales. El diferencial relativo de las resistencias a la compresión y flexión entre los muros de adobe y los componentes de concreto, hizo que estos los desarticularan durante el terremoto.



Figura 15. Refuerzos de concreto en muros de adobe colapsados. Hueyapan, Morelos.

A esta nociva combinación de alteraciones es importante agregar un aspecto que, a pesar de considerarse una “obra menor”, tuvo un gran impacto como precursor de la debilidad de las estructuras de tierra. Casi la totalidad de las viviendas tradicionales fueron revocadas en los últimos veinte años con cemento. Esta moda, que se desprende de la desconfianza de la gente en las técnicas del pasado pero, sobre todo, de aspectos ideológicos asociados a una necesidad de mostrar una imagen de “prosperidad y modernidad”, tuvo efectos desastrosos.

Como se sabe, este tipo de capas impermeables son causa de graves daños en muros hechos con materiales porosos, debido a que se acumula la humedad en su interior y, en el caso de las estructuras de tierra, el material se disgrega, perdiendo su capacidad de carga.

Entonces, los terremotos de septiembre movieron una amalgama de edificios discordantes en altura y resistencia, con muros en los que los adobes estaban reblandecidos por la humedad y que, además, habían perdido parte de su masa al abrirse amplias ventanas.

Los efectos no han sido cuantificados en su totalidad a más de un año, pues las alteraciones urbanas han sido tan desarticuladas y veloces, que los municipios no contaban si siquiera con un registro real de las viviendas existentes, ni mucho menos de las obras realizadas al interior de las viviendas, pues eran producto de autoconstrucción informal.

Afortunadamente, las obras en las que la gente de menores recursos económicos no tuvo la “oportunidad” de hacer “mejoras” a su vivienda, permanecen en pie como un legado que debe ser valorado y difundido.

## Reflexiones finales

Como se ha puesto en evidencia, la construcción de la vivienda de la región está basada en principios de diseño bastante simples. No existe una gran sofisticación en los materiales utilizados y en los sistemas constructivos implementados, y no se ha utilizado ningún elemento constructivo de los que comúnmente se asocian con sistemas parasísmicos, tales como mallas de confinamiento de superficies, contrafuertes, escalerillas, refuerzos de esquina, cadenas de cerramiento, muros divisorios, entramados o marcos rígidos.

Se tiene la hipótesis de que el eficiente comportamiento estructural del conjunto ante los diversos tipos de sismos que se describieron en líneas anteriores, en gran medida proviene del hecho de que todo el sistema está diseñado para resistir, pero sin contraponerse de forma rígida a las fuerzas de la naturaleza.

Los constructores tradicionales se dieron cuenta, a partir de atávicos ensayos y errores, que resultaba imposible realizar estructuras rígidas y pesadas que se opusieran a los sismos. Entonces, desarrollaron diferentes recursos para procurar que los espacios habitables tuvieran envolventes flexibles y ligeras, capaces de moverse armónicamente con el suelo. Los elementos que componen el techo, los tapanco y los tensores, se encuentran simplemente apoyados en los muros, por lo que se pueden mover con cierta libertad dentro del sistema.

Al tratarse de componentes ligeros, acompañan la oscilación de los edificios sin comprometer su estabilidad. Asimismo, la falta de mortero de las tejas y la estructura articulada de madera que se apoya sin fijarse sobre los adobes, produce fricción durante los movimientos sísmicos. Entonces, se desarrolla un proceso en el que se disipa la energía al transformarse en calor (Guerrero, Meraz y Soria, 2007).

Cuando las formas originales son modificadas

por crecimientos derivados de necesidades funcionales, con desequilibrios entre los muros longitudinales y transversales, las diferencias de masas y empujes pueden provocar su colapso.

Al haberse perdido paulatinamente los saberes de la edificación tradicional, la gente autoconstruye con un escaso conocimiento de los materiales industrializados, o recurre a la contratación de albañiles que no entienden la importancia de la compatibilidad de los sistemas constructivos antiguos y modernos (Guerrero y Vargas, 2015). Es urgente generar propuestas de rescate de los conocimientos ancestrales que puedan apoyar la conservación y restauración de las construcciones vernáculas y el diseño futuro.

La construcción tradicional es la materialización de innumerables saberes generados en el pasado, cuya eficiencia ha sido probada tras milenios de experimentación. Por ello, constituye una fuente inagotable de información que debe ser retomada para la generación de espacios habitables que permitan elevar la calidad de vida de la sociedad y, sobre todo, que brinden seguridad a sus habitantes.

## Referencias

- De Anda, F. (2017), *Intervenciones de mala calidad causaron colapso de monumentos: INAH*. Diario *El Economista*, 6 de diciembre. México. Consultado en: <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Intervenciones-de-mala-calidad-causaron-colapso-de-monumentos-INAH-20171002-0082.html>
- Dipasquale, L., Omar, D. & Mecca, S. (2014), *Earthquake resistant systems*, en M. Correia, L. Dipasquale & S. Mecca, (eds), *VERSUS. Heritage for tomorrow*, pp. 233-239, Firenze University Press, Firenze.
- Estrada, A. (1983), *Tlayacapan, Notas históricas*, DIF-Morelos, México.
- López, F. (1987), *Arquitectura vernácula en México*, Trillas, México.
- Guerrero, L. (1996), *La vivienda tradicional en los valles altos del Estado de Morelos, Un enfoque tipológico*, en *Estudios de tipología arquitectónica 1996*, U.A.M. Azcapotzalco, México D.F.
- Guerrero, L., Meraz, L. & Soria, F. J. (2007), *Cualidades sismorresistentes de las viviendas de adobe en las faldas del Volcán Popocatepetl*, en L. Guerrero (Coord.), *Patrimonio construido con tierra*, p.p. 91-107, U.A.M., México.
- Guerrero, L. y Vargas, J. (2015), *Local Seismic Culture in Latin America*, en Correia, M., Lourenço, P. & Varum, H. (Eds.) *Seismic Retrofitting: Learning from Vernacular Architecture*, p.p. 61-66, Taylor & Francis Group, London.
- Israde, Y. (2017a), *Ven daños y demuelen*, Diario *Reforma*, 30 de septiembre, México. Consultado en: <https://www.reforma.com/libre/online07/aplicacionei/Default.html?c=a&fecha=20170930>
- Israde, Y. (2017b), *Ponderan expertos arquitectura nativa*, Diario *Reforma*, 12 de octubre, México. Consultado en: <https://www.reforma.com/libre/online07/aplicacionei/Default.html?c=a&fecha=20171012>
- [www.ssn.unam.mx/SSN/Doc/Sismo85-6.htm](http://www.ssn.unam.mx/SSN/Doc/Sismo85-6.htm)
- [www.whc.unesco.org/en/list/702](http://www.whc.unesco.org/en/list/702)