

CULTURAS SÍSMICAS EN TIERRA. ESTRATEGIAS LOCALES DE RESPUESTA AL SISMO DE LA ARQUITECTURA EN TIERRA CHILENA.

Natalia Jorquera Silva

Departamento de Arquitectura, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Chile.
Avenida Portugal 84, Santiago, Chile
nataliajorquera@uchilefau.cl

Palabras claves: Culturas sísmicas locales, patrimonio en tierra, sismos.

Resumen

El patrimonio arquitectónico de dos tercios del territorio chileno se encuentra construido en tierra. Representante de distintos periodos históricos –desde tiempos precolombinos hasta las primeras décadas del S.XX-, y bajo una amplia gama de tipologías arquitectónicas y tecnologías, este patrimonio ha resistido el pasar del tiempo, y los numerosos eventos telúricos que caracterizan el territorio chileno. ¿Cómo se explica la resiliencia de numerosas viviendas anónimas, iglesias y grandes haciendas construidas en tierra en uno de los países más sísmicos del mundo? La respuesta está en el desarrollo de *culturas sísmicas locales* allí donde la tierra es el material predominante de construcción.

Las culturas sísmicas locales (CSL), constituyen el conjunto de soluciones culturales y constructivas útiles para alcanzar “la estabilidad del ambiente construido”, y se desarrollan allí donde los terremotos son endémicos (Pierotti; Olivieri, 2001), siendo este el caso de Chile, donde los sismos que superan los 7° de magnitud suceden en promedio cada 10 años, registrándose más de 100 terremotos superiores a dicha magnitud desde 1570 a la fecha, según el registro histórico del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile (1).

Debido a las diferencias geográficas, climáticas y culturales de los más de 4000 km que conforman el territorio chileno, una gran variedad de culturas constructivas y de culturas sísmicas locales se han desarrollado a lo largo de los siglos, donde los frecuentes desastres naturales se han transformado en una oportunidad para el desarrollo de soluciones sismorresistentes utilizando los recursos locales a disposición. Así, desde el extremo andino por el norte, hasta el inicio de las zonas lluviosas en el sur de Chile, piedra, madera y tierra han ido entrelazándose en el tiempo para una mejor respuesta al sismo, conjugando criterios morfológicos, resistentes o de desempeño, según lo permitiera el desarrollo tecnológico local.

La presente ponencia dará a conocer una investigación que se encuentra en su fase inicial, cuyo objetivo es dilucidar cómo cada cultura constructiva en tierra chilena ha enfrentado el problema del sismo a lo largo de su historia. Sobre la base de un primer catastro de la arquitectura tradicional en tierra chilena realizado en la tesis doctoral de la autora titulada “*Culturas Constructivas en tierra y riesgo sísmico*” (2), la investigación identifica las posibles estrategias sismorresistentes y su evolución, para establecer si se puede afirmar que se ha desarrollado o no una CSL. A partir de ello, se analizan las características morfológicas, tecnológicas y estructurales de las tipologías arquitectónicas más recurrentes en el territorio chileno, para reflexionar sobre las estrategias de sismorresistencia de dichos inmuebles que explican su buen o mal comportamiento. Así, el fin último de la ponencia es develar la utilidad de las CSL como herramientas de conservación del patrimonio construido en tierra.

1. INTRODUCCIÓN

Se estima que un 40% de la arquitectura chilena con valor patrimonial se encuentra construida en tierra (Karmelic, 2009), principalmente en adobe (60%) y técnicas mixtas madera-tierra (40%) que en sus distintas expresiones arquitectónicas van plasmando de identidad a casi dos tercios del territorio chileno, desde el extremo norte (lat.18°11'S) hasta el inicio de la región del Bío-bío (lat.36°8'S) por el sur, es decir, entre las latitudes donde predomina el clima árido-seco y templado-mediterráneo, coincidiendo además con la zona de la conquista española.

Gran parte de este patrimonio posee varios siglos de vida, existiendo sitios arqueológicos que se remontan a épocas precolombinas, y un vasto patrimonio arquitectónico fruto del largo periodo Colonial (S. XVI-XVIII) y Republicano (S. XIX), con ejemplares monumentales (iglesias y haciendas principalmente) y un numeroso pero anónimo patrimonio residencial de data desconocida, pues se ha ido haciendo y re-haciendo a través de los siglos.

Durante el siglo XX, con la llegada masiva de los materiales industrializados y la creación de las primeras normativas técnicas para la construcción, la utilización de la tierra fue dejándose de lado paulatinamente, dando paso a su estigmatización como material pobre y de “baja resistencia” frente a los terremotos. Específicamente es el terremoto de 1939 con epicentro en la ciudad de Chillán en el sur de Chile, de magnitud 8.3°, el que marcó un antes y un después en la historia de la construcción con tierra, pues fue ahí cuando por primera vez la prensa acusó a una técnica constructiva como la causante de las miles de muertes: “adobes, ladrillos y vigas aplastaron a miles de personas...”, “...de los 3.526 inmuebles, 1.645 se derrumbaron totalmente...” (Urrutia; Lanza, 1993), y de ellos un 59% eran de adobe. Como consecuencia del terremoto, se modificó la Ordenanza General de Construcciones y Urbanismo (1931), prohibiendo el uso del adobe –y con ello todas las técnicas donde predominase la tierra- tanto para las obras nuevas como para la restauración de aquellas existentes por ser consideradas obras “sin diseño sísmico” (Astroza, sin fecha), excluyendo su uso incluso en los procesos de reconstrucción, lo que ha significado la pérdida sostenida del patrimonio arquitectónico del país.

En este negativo escenario sin embargo, existen aún numerosos ejemplares construidos en tierra, de antigua data, que han sobrevivido al paso del tiempo, silenciosos e inmutables, y muchas veces no documentados. Aquellos sobrevivientes son sin duda los portadores de una cultura sísmica local, y como tal *debieran transformarse en objeto de profundo estudio, pues en ellos pueden encontrarse claves de diseño que inspiren intervenciones sismorresistentes sobre otros inmuebles* (Bahamondez et al, 2011).

En la actualidad, un gran paso está por darse en cuanto a protección del patrimonio construido en tierra se refiere: desde el año 2009 una comisión de expertos –entre los cuales se encuentra la autora- está trabajando en la creación de la primera normativa para regular las intervenciones sobre el patrimonio construido en tierra, la que será además la primera norma para regular las intervenciones en la edificación histórica en Chile: la “NCh3332 Intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda- Requisitos del proyecto estructural” se encuentra en su fase final de preparación, y se espera que esté pronta para fines del año 2013.

2. EL CONCEPTO DE CULTURA SISMICA LOCAL

Aunque aún no forma parte de una definición oficial por parte de las instituciones internacionales encargadas de la tutela del patrimonio (UNESCO, ICOMOS, ICCROM entre otras), el concepto de “cultura sísmica local”, es cada vez más frecuente en la literatura científica, en una estrecha relación al concepto de “cultura constructiva”, pero en lugares específicos donde la acción sísmica es alta (Jorquera, 2012).

Cuando los terremotos son frecuentes y el sufrir sus consecuencias se ha transformado en una experiencia que forma parte de la memoria colectiva de una sociedad, es normal que se tomen ciertas medidas para administrar el riesgo sísmico, las cuales van desde la elección del territorio, a la manera de agrupar las edificaciones, a cómo construirlas, y a la adopción de determinadas conductas sociales (Jorquera, 2012). En palabras simples, en un territorio donde el terremoto es una variable más del ambiente, es necesario aprender a vivir con él.

Según Pierotti y Ulivieri (2001), se debe hacer una distinción entre las sociedades cuyos terremotos son “endémicos”, es decir que ocurren con mucha frecuencia, de aquellas que habitan de igual manera en territorios sísmicos, pero donde éstos ocurren a una distancia tal que no permite que la experiencia traumática se traspase de generación en generación de forma directa, y hace por tanto que la sociedad se encuentre menos preparada para

enfrentar el evento, con consecuencias desastrosas mucho mayores. En el primer caso en cambio, donde el terremoto es endémico, el evento se transforma en parte de la experiencia de la comunidad y es parte esencial de la identidad colectiva del grupo, el cual intentará adaptar todos los recursos a su disposición, para lograr la estabilidad del ambiente construido; el resultado es, la creación de una serie de simples reglas no escritas, pero que se pueden leer claramente en la forma urbana, en el diseño arquitectónico y en las características constructivas de los edificios (Dipasquale; Jorquera, 2010).

3. LAS CULTURAS CONSTRUCTIVAS DE TIERRA EN CHILE

Se entiende por cultura constructiva, una determinada tecnología arquitectónica desarrollada en un lugar específico, y que constituye no sólo una técnica y un repertorio de materiales, sino un conjunto de soluciones funcionales, constructivas y estructurales que entrelazadas responden al problema del habitar de un grupo humano, donde cada decisión es una síntesis de reglas que reflejan el contexto cultural en el cual nace el edificio (la estructura social, las creencias, las tradiciones, el lenguaje) y ambiental (la geografía, el clima, los recursos disponibles, los riesgos). Por esto, una cultura constructiva esconde un sinnúmero de saberes sobre el lugar, el ambiente y el uso racional de los recursos locales para dar forma al espacio construido (Tonietti, 2010). De acuerdo a esta definición, se puede afirmar que los distintos ejemplos de arquitectura en tierra en Chile forman parte de diversas *culturas constructivas locales*.

En la ya citada tesis doctoral de la autora (3), se llegó a identificar las culturas constructivas cuyo material más abundante es la tierra, tomando como base metodológica para su identificación los siguientes parámetros:

- la existencia de un desarrollo tecnológico, cuyo material predominante fuera la tierra, asociado a un área geográfica determinada y con características ambientales en común;
- que existieran una o más tipologías arquitectónicas, con una tecnología en común, cuya presencia fuera difusa (es decir, que no se tratase de casos aislados);
- que la tierra fuera el material de construcción predominante y que jugase un rol importante, pero no necesariamente que fuera el único, incluyendo por tanto las tecnologías mixtas;
- que existieran rasgos culturales en común asociados al territorio identificado;
- que los asentamientos se encuentren al día de hoy habitados y con la arquitectura en uso.

Del cruce de esta información, se identificaron seis culturas constructivas, cada una con una extensión territorial distinta (Figura 1), a partir de la cual fue asignado un nombre (Jorquera, 2012). Ordenadas de norte a sur, sus características principales son las siguientes:

- **La Cultura constructiva Andina.** Ubicada en la zona andina del Norte Grande (altiplano y valles interiores de la cordillera de los Andes de las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta). El nacimiento de la cultura se remonta a épocas precolombinas y se desarrolla ulteriormente durante la Colonia española, siendo la arquitectura el resultado de la fusión de las cosmovisiones andinas y españolas. Su estado de conservación es crítico principalmente a raíz de los cambios sociales ocurridos durante las primeras décadas del siglo XX cuando gran parte de la población abandona los poblados andinos para ir a trabajar en las mineras de la zona. Actualmente la amenaza principal es la escasez de agua, utilizada por las numerosas mineras de la zona que han contribuido a una aún mayor desertificación de los valles, imposibilitando la cultivación y con ello la supervivencia. Los terremotos de los años 2005 y 2007 han empeorado la situación, destruyendo los pocos poblados bien conservados.

- **La Cultura de “Las salitreras”**. Ubicada en las distintas ciudades mineras del Desierto de Atacama, que basaban su productividad en la extracción del Nitrato de Sodio, apodado “salitre”. Estos campamentos mineros nacen a fines del S.XIX y la mayoría de ellos cierra a mediados del siglo XX. Su valor especial es que representan un caso único de arquitectura industrial construida en tierra, utilizando sistemas mixtos hierro-tierra. A nivel cultural representa un caso particular de una comunidad conformada por dos grupos antagónicos: los inversionistas extranjeros dueños de las minas (ingleses y estadounidenses) y los mineros trabajadores pertenecientes a las clases más bajas de Chile. Actualmente resta en funcionamiento sólo la salitrera de María Elena, por lo cual esta cultura está casi extinta, debido a los naturales cambios en los sistemas productivos que han llevado al cierre de la mayoría de los campamentos. El terremoto del 2007 afectó especialmente la ciudad de María Elena, la que estuvo en riesgo de desaparecer completamente, pero que gracias a su pronta declaración como “Zona Típica” (4), ha sido protegida.

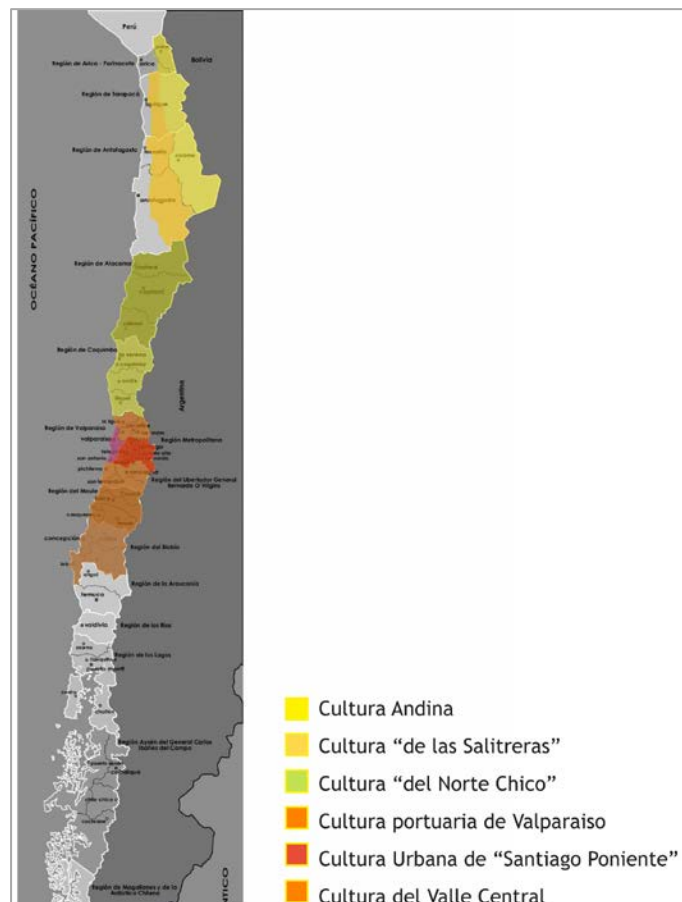


Figura 1. Mapa con las distintas “culturas constructivas” chilenas donde predomina la tierra como material de construcción. (Créditos: Natalia Jorquera)

- **La Cultura del “Norte chico”**. Ubicada en los oasis de los valles interiores de las regiones de Atacama y Coquimbo. El poblamiento de la región tiene su origen en la cultura precolombina del Molle, pero se consolidó como zona habitada sólo a fines del S.XVII después del auge de la producción agrícola. Esta cultura posee rasgos menos definidos que las otras, pero su lejanía respecto a los centros urbanos ha hecho que se mantenga parcialmente viva, manteniéndose las costumbres legadas a la vida rural y por ende también el uso de las técnicas tradicionales incluso en la arquitectura contemporánea.

- **La Cultura Urbana de “Santiago Poniente”**. Ubicada en la zona poniente del centro histórico de la capital Santiago. Esta cultura nace a mediados del siglo XIX de la mano de los inmigrantes de distintas partes de Europa que llegan con posterioridad a la Independencia de España, quienes construyeron palacios de varios pisos utilizando técnicas mixtas madera-tierra. De esta cultura subsisten los objetos arquitectónicos, pero no así la

comunidad que le dio vida, ya que ésta emigró hacia los sectores altos de la capital. La amenaza principal a esta cultura ha sido el despoblamiento del centro de Santiago hacia mediados de 1950 y el consecuente deterioro urbano, y por último la gran especulación inmobiliaria que afecta la zonas desde mediados de los años 80's del siglo XX, que al introducir edificios en altura al interior de las manzanas edificadas, ha modificado el comportamiento estructural de los conjuntos habitacionales (Varios autores, 2000). El terremoto del 1985 con epicentro en la comuna de San Antonio, de magnitud 7.8°, y el del 2010 con epicentro en las costas de Cauquenes en la región del Bío-bío, de magnitud 8.8°, produjeron daños graves en alrededor de un 20% de los inmuebles (alrededor de 90 de un total de 450 inspeccionados), los cuales corresponden a viviendas colectivas que ya se encontraban en un estado de gran vulnerabilidad estructural.

- **La Cultura Portuaria de Valparaíso.** Ubicada en el área histórica de la ciudad de Valparaíso. Nace a mediados del siglo XIX en estrecha relación al intercambio cultural del que fue el principal puerto del Pacífico. La única tipología recurrente son los conjuntos residenciales plurifamiliares de varios pisos, construidos en la técnica mixta a base de un esqueleto de madera y un relleno de *adobillo*, es decir, con un bloque de adobe de dimensiones inferiores trabado entre los pies derechos (5). El decaimiento de la cultura coincide con la apertura del Canal de Panamá en 1914, que relegó al puerto de Valparaíso a un segundo plano, provocando cambios sociales y una gran crisis económica que sólo en los últimos años se está superando, gracias al turismo desarrollado desde la nominación de la ciudad como sitio Patrimonio de la Humanidad en el año 2003.

- **La Cultura del Valle Central.** Ubicada en los valles interiores (entre la Cordillera de los Andes y la cordillera de la Costa) de las regiones Metropolitana, de Valparaíso, de O'Higgins y del Maule, siendo la cultura de mayor extensión territorial. Su origen se remonta a las primeras décadas de la Colonización española y está ligada al modelo agrícola-latifundista de producción. A pesar de los cambios sociales y de los sistemas productivos ocurridos a lo largo del siglo XX, esta cultura se mantiene bastante viva, manteniendo las ricas tradiciones y todo el patrimonio intangible relacionado con el mundo rural, aunque como ocurre en todo el resto de las culturas, los saberes locales relacionados al uso de la tierra, se han ido perdiendo paulatinamente.

4. ESTRATEGIAS DE RESPUESTA AL SISMO: ¿SE PUEDE HABLAR DE CULTURAS SÍSMICAS LOCALES?

4.1. La acción sísmica en el territorio chileno

Chile posee una de las sismicidades más altas del planeta: *“en promedio en los últimos cinco siglos un terremoto destructor de magnitud superior a 8 se ha producido cada 10 años en alguna parte del territorio chileno”* (Madariaga, 1998). Esta sismicidad se debe a que el territorio chileno *“se encuentra ubicado sobre la placa Sudamericana, cercano al margen convergente que la divide de la placa de Nazca, ubicada al oeste”* sufriendo el fenómeno denominado subducción, donde ambas placas convergen entre 8 a 9 cm al año, pero al estar *“estas placas ‘trabadas’, acumulan energía hasta que finalmente, esta energía es liberada causando un terremoto”* (Centro Sismológico Nacional), los cuales son de gran magnitud, de larga duración y con hipocentros a menudo en el océano, por lo que traen consigo la creación de tsunamis que muchas veces son más destructores de los propios terremotos. Cabe destacar además que *ninguna parte de nuestro territorio está libre de sufrir futuros terremotos* (ONEMI, 1986).

El país posee el triste récord de registrar los terremotos de más alta magnitud de la Historia: sólo en el siglo XX más de 30 terremotos superaron la magnitud 7°, destacando los de Valparaíso de 1906 de 7.9°; Talca 1928 de 8.3°; Chillán 1939 de 8.3°; Valdivia 1960 de 9.5°(considerado el más grande terremoto de la Historia). El siglo XXI hizo su debut con los terremotos de Tarapacá de 7.9° en el 2005, el de Tocopilla de 7.7° en el 2007, y el de Cauquenes de 8.8° del 27 de febrero del 2010, considerado el tercero más grande de la historia (después de Valdivia 1960 y Japón 2011).

Independientemente de su magnitud, son los terremotos de la zona central de Chile los más destructivos y recordados, dado que allí se concentra la mayor población del país, como fue el caso del último terremoto del 2010, que azotó las cuatro regiones con mayor número de habitantes, densidad y concentración de las actividades productivas, por lo que significó un gran desastre.

4.2. Estrategias locales para enfrentar el sismo: morfología, resistencia y desempeño

En este contexto altamente sísmico, diversas estrategias de respuesta al sismo han sido adoptadas por cada una de las culturas constructivas, en relación a la disponibilidad de recursos locales que determinan el desarrollo tecnológico de cada región.

A grandes rasgos se puede establecer que existe una estrecha relación entre el factor climático, la disponibilidad de recursos y la estrategia adoptada, lo que se traduce que allí donde el clima es árido-seco y por ende la vegetación es escasa, es casi imposible encontrar en la naturaleza elementos que confieran ductilidad al edificio (maderas, fibras, etc.) y por ende las estrategias adoptadas se basan exclusivamente en lograr el equilibrio jugando con las variables de morfología y resistencia: este es el caso de la arquitectura de la macro región Andina.

En aquellas zonas en cambio, donde el clima templado ha posibilitado el crecimiento de vegetación, aparecen incorporados a la arquitectura, elementos dúctiles que mejoran el comportamiento a la tracción: es el caso de la cultura constructiva del Norte Chico y del Valle Central, donde existe una primera estrategia basada siempre en la morfología y resistencia, y una segunda donde la incorporación de elementos dúctiles complementarios que se “activan” durante el terremoto, ha logrado buenos desempeños a lo largo de la Historia.

Por último, está el grupo donde dada la abundancia de madera -provenientes de los barcos exportadores que desembarcaban en Valparaíso, donde la madera era usada como lastre-, se concibieron edificios donde la estructura primaria es la madera en forma de tabique (6), utilizada sin pretender ahorrar material, y la tierra es empleada como relleno, bajo forma de adobe, mezcla de barro con paja (en el caso de quinchas) o de adobillo. En este caso, el comportamiento dinámico del conjunto depende principalmente de la elasticidad de la madera, es decir, se trata de estructuras que pueden ser sometidas a la tracción y donde la tierra juega el rol de arriostrar los paramentos de muro en el sentido del plano, reduciendo las posibles deformaciones.

5. ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS ARQUITECTÓNICO-CONSTRUCTIVOS QUE FUNDAN LAS CULTURAS SÍSMICAS LOCALES.

¿Se puede considerar que cada cultura constructiva de tierra chilena es también una cultura sísmica?, ¿qué tan eficaces es cada una de ellas?, ¿cuáles son los elementos arquitectónicos, constructivo-estructurales que han sido tomados en consideración en las estrategias de respuesta al sismo?

Estas preguntas de investigación, conducentes al análisis caso a caso, serán esbozadas a continuación.

5.1. Morfología y resistencia en la Cultura Andina.

La arquitectura de la región andina, está construida principalmente en albañilería de adobe y mampostería de piedra asentada en barro; ambas técnicas han sido utilizadas tanto para la arquitectura residencial como para aquella monumental, cuyo máximo ejemplo lo constituyen las iglesias del altiplano andino. Dada la ausencia de madera en dichas regiones, el secreto de la preservación del patrimonio andino hasta el día de hoy, está en la adopción de una volumetría general de forma ligeramente piramidal –asemejando la venerada *Pachamama* (7) representada por el cerro- (Figura 2), la preferencia de una geometría simétrica y de pequeñas dimensiones, y una alta densidad de muros repartidos uniformemente (Fercovic, 2011) de grandes espesores y muy baja esbeltez (relación

espesor-altura), los cuales muchas veces tienen también secciones piramidales que hacen que cada paramento sea auto-soportante. Mientras las dimensiones de la arquitectura sean pequeñas, bastan estas estrategias para hacerlas sismorresistentes, a medida que crecen en cambio, como en el caso de algunas iglesias, se hace necesario incorporar elementos adosados a los volúmenes principales (contrafuertes, capillas laterales), o bien, el “aterrazar” el conjunto, además de engrosar los muros principales, los cuales en algunos casos llegan hasta 1,5 m de espesor: se trata de un principio más bien estático gravitacional que dinámico (Jorquera, 2010). El comportamiento frente al sismo va a depender de qué tanto se respeten estas reglas, a lo que se suma como factor determinante, la calidad de los materiales empleados y el cómo han sido ejecutadas las técnicas: las albañilerías de adobe suelen comportarse mejor que las mamposterías de piedra irregulares asentadas en barro, ya que en las primeras la regularidad del aparejo, así como la utilización de la misma tierra tanto para los bloques de adobe como para el mortero, confieren un comportamiento unitario al muro; en cambio en las segundas, dada la irregularidad de las piedras ejecutadas sin trabazón, la responsabilidad de que los elementos del muro se mantengan unidos frente a los esfuerzos dinámicos recae exclusivamente en el mortero de tierra, el cual en la mayoría de los casos por poseer muy poca arcilla tiene poca capacidad conglomerante y por tanto, frente a los esfuerzos sísmicos los muros responden desmoronándose.



Figura 2. Modelo “estático gravitacional” que asemeja la forma del cerro. En la imagen a la derecha, la capilla de Nama en la región de Tarapacá. (Créditos: Natalia Jorquera)

5.2. Morfología y ductilidad en la Cultura del Norte chico y del Valle Central chileno

La arquitectura del Norte Chico de Chile y del Valle Central, poseen características arquitectónicas en común, producto del legado colonial español. Se trata de una arquitectura austera, volcada hacia su interior, donde todos los recintos se organizan entorno a patios, de uno o dos pisos máximo, con la diferencia que si en el norte chico proliferan principalmente las viviendas agrupadas continuamente conformando manzanas, en el Valle Central existen además de esos conjuntos de viviendas, las grandes haciendas, conocidas como “Casas Patronales”, principal legado español en Chile. En ambos casos, la técnica de construcción predominante es el adobe, aunque dada la presencia de vegetación en los oasis del Norte Chico y en el fértil Valle Central, aparecen también técnicas mixtas, como la quincha en el Norte y la tabiquería de madera rellena con adobe en el Valle Central, no obstante la estructura principal es siempre de adobe.

Las estrategias de respuesta al sismo se basan primero en la morfología, a través de la creación de volúmenes simétricos, grandes espesores de muro, pocos vanos y muros perpendiculares cada cierta distancia para disminuir la longitud flexible de los paramentos mayores; estas estrategias son complementadas con “llaves” de madera (Figura 3) que van intercaladas cada cierto número de hiladas de adobe, y en algunos casos con tirantes que conectan muros perpendiculares entre sí.

En el Valle Central, existen grandes y pesadas cubiertas de tejas, sobre cuya función no existe consenso entre especialistas nacionales e internacionales ni entre las autoridades locales: algunos especialistas sostienen que dicho peso agrava la fuerza sísmica y por tanto debe aligerarse, idea que llevó a que las autoridades locales promovieran el reemplazo de las cubiertas históricas por planchas de zinc, después del terremoto de 1985; otros

especialistas sostienen lo contrario: dicho peso es necesario para que los muros permanezcan juntos frente a las sollicitaciones dinámicas. De la observación en terreno de más de 200 casos de viviendas dañadas después del terremoto del 2010, se concluyó que el peso de la cubierta aplasta los muros y provoca colapsos, allí donde las secciones de la estructura de madera son insuficientes para soportar dicho peso y donde además existen elementos en gran estado de pudrición, en cambio en aquellos casos donde la estructura se encuentra bien dimensionada y en buen estado, y sobre todo, donde existe una solera superior de amarre que sirve de apoyo de la techumbre distribuyendo las cargas correctamente a los muros, no se registraron daños graves. Sí se registraron colapsos totales por abertura de muros en las esquinas, allí donde las cubiertas habían sido reemplazadas por zinc. No obstante, este aspecto constituye una discusión aún abierta, sobre la cual queda mucho que investigar.

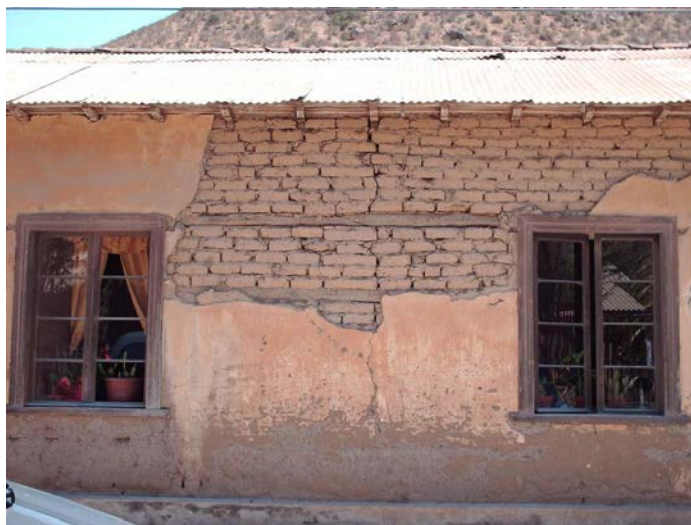


Figura 3. Presencia de las llaves de madera evidenciadas cuando caen los estucos.
(Créditos: Natalia Jorquera)

La concepción de morfología y ductilidad fue llevada a su extremo en las haciendas, pues allí las grandes dimensiones de los recintos hacen que todo el conjunto se encuentre muy sollicitado frente a esfuerzos dinámicos, lo cual se ve agravado por la esbeltez de los muros, que muchas veces supera la aconsejable relación 7:1.

Como en todos los casos, la eficacia de estas estrategias depende en gran parte de la correcta ejecución de las obras y de su estado de mantención. Muchas veces es el patrimonio monumental el que mejor ha resistido el paso del tiempo, pues se encuentra bien concebido y ejecutado, en cambio las viviendas, cuya concepción muchas veces se aleja de las reglas del buen construir, y cuya mantención no pueden solventarlas las familias, presentan mayores daños y colapsan durante los terremotos.

5.3. Ductilidad en las zonas urbanas de Santiago Poniente y Valparaíso.

En ambos casos se trata de una arquitectura residencial, agrupada de manera continua formando manzanas, y que dado la utilización de madera como estructura primaria, posee mayores alturas y esbelteces y vanos más grandes.

En el caso de Santiago Poniente, muchas veces el muro perimetral del primer piso es construido en adobe, en cambio los muros divisorios interiores y los del segundo y tercer piso son construidos en tabiquería de madera, rellena con adobe puesto en pandereta y conectado a los pies derechos por medio de alambres (Figura 4). La estrategia de respuesta al sismo se basó por un lado en la utilización de las técnicas mixtas, donde la madera confiere mayor elasticidad a la obra, y por otro, en la concepción de cada palacio como parte de un conjunto estructural conformado por la totalidad de la manzana, haciendo coincidir la altura y dimensión de los diafragmas de entrepiso y las alturas totales, por ello, cuando se demuele un edificio al interior de la manzana, se debilita el comportamiento estructural de todo el conjunto. Un aspecto débil de esta cultura constructiva son las conexiones entre

ambos sistemas constructivos, y entre los componentes de la tabiquería: muchas veces los alambres se oxidan y los adobes se desprenden de la estructura de madera. Se trata entonces de una cultura constructiva que ha desarrollado algunas estrategias de respuesta al sismo, pero que no llegan a formar parte de una cultura sísmica local, pues no poseen una “integridad global” al ser *“nula o débil la unión entre los elementos que forman el sistema estructural, es decir la unión entre los muros, entre los muros y los tabiques divisorios y entre la techumbre y los muros”* (Astroza, 2010).



Figura 4. Detalle del sistema mixto madera-tierra cuya debilidad son las conexiones. (Créditos: Natalia Jorquera)

En Valparaíso en cambio, existe una concepción unitaria de toda la estructura y mejores conexiones entre sus elementos: todos los pisos se encuentran contruidos en tabiques de madera, con pies derechos cada 60cm, tanto en muros perimetrales como interiores, y el relleno de tierra ha sido pensado para estar completamente afianzado a la estructura, mediante la creación de un bloque de tierra y paja de dimensiones especiales con dos muescas en ambos extremos, de manera de quedar perfectamente ensamblado a los pies derechos: es el llamado “adobillo” (Figura 5). Este sistema mixto madera-tierra desarrollado con posterioridad al terremoto de 1906 que destruyó completamente Valparaíso, ha permitido responder de manera eficiente a los numerosos terremotos que han afectado la ciudad, no registrándose grandes daños con el último terremoto del 2010. En este caso se está claramente en presencia de una cultura sísmica local.



Figura 5. Detalle del sistema conocido como “adobillo”, cuya elasticidad y uniones eficaces han permitido un buen desempeño frente a los sismos. (Créditos: Natalia Jorquera)

5.4. El caso de la ductilidad sin morfología en las Salitreras de María Elena.

Las salitreras de María Elena, corresponden al único caso habitado de los más de cien poblados mineros que existieron entre fines del S.XIX y principios del XX. De todas las culturas constructivas, ésta constituye un caso aparte, pues sus edificios fueron concebidos en el extranjero (USA) e importados al territorio chileno, se trata entonces de un ejemplo de arquitectura industrial que no responde a las necesidades locales. Se trata de grandes galpones, con alturas y esbelteces considerables y muchos vanos, concebidos en adobe y con la particularidad de poseer una segunda estructura conformada por perfiles de fierro, embebida al interior de los muros; cada seis hiladas, aparece sistemáticamente una escalerilla horizontal de metal desplegado (Figura 6) que podrían haber sido utilizadas como amarre entre la estructura de albañilería y la de fierro, sin embargo no es así. Este es un interesante caso donde se puede hipotizar que se intentó realizar una albañilería armada, pero debido al abandono de los principios de morfología y a la desconexión entre ambos sistemas, el resultado no fue óptimo y por ende no podemos hablar de una cultura sísmica.



Figura 6. Modelo que ilustra la inserción de la estructura metálica dentro la albañilería de adobe en la Escuela Consolidada de María Elena. (Créditos: Oficina Surtierra Arquitectura)

6. REFLEXIONES SOBRE LA PÉRDIDA DE LA CULTURA SÍSMICA Y LA UTILIDAD DE SU RECUPERACIÓN.

Analizando los daños producidos en la arquitectura en tierra post-terremotos 2005, 2007 y 2010, se puede afirmar que son muchos los factores que se entrelazan para que una obra llegue a un colapso total: desde una concepción arquitectónica errónea, pasando por la calidad de los materiales empleados, hasta por defectos constructivos, por modificaciones a la estructura original, por falta de mantención y también por alejarse de la cultura sísmica local a la cual pertenece. Algunos obras fueron concebidas ya sin respetar la “gramática” de su contexto, o bien, las sucesivas modificaciones y la falta de mantenimiento fueron alejándose cada vez más del lenguaje adoptado en el tiempo, después de largos ensayos de prueba y error.

Siguiendo la hipótesis desarrollada en la tesis de doctorado de la autora, es la “falta de conocimiento” -más allá de las características intrínsecas del construido- la que aumenta los niveles de riesgo sísmico: no sabiendo el origen, la evolución histórica, las características constructivas ni una mínima comprensión estructural, es imposible predecir el comportamiento de cualquier tipo de edificación histórica. Esto es más grave en el caso de la arquitectura en tierra, donde el “desconocimiento” muchas veces es total, y con la excusa de que se trata de estructuras que colapsan frente a los sismos, no existe un mínimo interés que permita aumentar el conocimiento, y por tanto reducir el riesgo sísmico. En Chile, después de cada terremoto, sólo se difunden aquellos casos de colapso total,

desprestigiando aún más al material y estigmatizando las distintas técnicas, sin preguntarse por el origen del colapso –porque muchas veces las obras son inmediatamente demolidas y por ende no se estudian-, y menos aún se documentan los casos de buen comportamiento. Estudiar, documentar y difundir tanto los ejemplos de mal como de buen comportamiento post-terremoto, es el primer paso para recuperar la cultura sísmica local.

El análisis de las culturas sísmicas detrás del patrimonio edificado puede transformarse en una útil herramienta de conservación preventiva: si se identifica un inmueble como perteneciente a una CSL, y a la vez conocemos las estrategias y elementos claves de dicha CSL, podremos reconocer sus puntos fuertes y débiles y predecir el comportamiento de un inmueble, evaluando cuanto éste se acerca o aleja de la “gramática”. A la vez, el conocimiento de la CSL permitiría el promover correctas intervenciones de reforzamiento y/o estabilización de los inmuebles, que respetando y potenciando las estrategias locales de respuesta al sismo, mejoraran su respuesta frente a terremotos futuros, y no como sucede en la actualidad, donde muchas veces las obras de tierra colapsan producto de anteriores intervenciones erróneas.

Los fenómenos naturales, entre los cuales los terremotos, en pasado administrados por las comunidades locales, al olvidarse las culturas sísmicas locales, se han transformado hoy en desastres naturales que amenazan a la población y al patrimonio arquitectónico (Jorquera, 2012); colmar ese vacío cognitivo es una tarea fundamental en cualquier zona sísmica del mundo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Astroza, M. et al. (2010). *Intensidades sísmicas en el área de daños del terremoto del 27 de febrero de 2010*. Santiago: documento docente del Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

Astroza, M. (sin fecha). *Efectos de los terremotos chilenos en las obras civiles*. Santiago: documento docente del Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

Bahamondez, M.; Contreras, S.; Hurtado, M.; Jorquera, N. y Vargas, J. (2011). *La arquitectura en tierra frente al sismo: conclusiones y reflexiones tras el sismo en Chile del 27 de Febrero de 2010*. En Revista CONSERVA nº16. Santiago: ediciones del Centro Nacional de Conservación y Restauración de la DIBAM, p.39-54.

Dipasquale, L.; Jorquera, N. (2011) Learning from local seismic cultures, as a strategy for reducing the risk of cultural heritage. En *Safeguard of cultural heritage. A challenge from the past for the Europe of tomorrow*. Florencia: ed COST, pp.116-117.

Fercovic, G. (2011). Criterios de intervención estructural. En Varios autores. *1ª Reunión técnica Iglesias del Altiplano: intervenciones arquitectónicas y arqueológicas en los Monumentos Nacionales*. Santiago: Ediciones Cuadernos del Consejo de Monumentos Nacionales.

Jorquera, N. (2012). *Culturas constructivas en tierra y riesgo sísmico. Conocimiento de la arquitectura tradicional chilena y evaluación de su vulnerabilidad frente a los sismos*. Tesis de Doctorado. Departamento de Tecnología de la Arquitectura, Universidad de Florencia, Italia.

Jorquera, N. (2010). Las iglesias del altiplano: un modelo de fusión entre el mundo hispánico y andino. En Fernandes, M.; Correia, M. *Terra em Seminário 2010*. Lisboa: Ed. Argumentum, p.125-129.

Karmelic, L. (2009). *Estudio descriptivo de los inmuebles patrimoniales construidos en tierra cruda que forman parte del Inventario de Patrimonio Cultural Inmueble de Chile*. Proyecto de investigación para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados. Santiago: Doctorado Arquitectura y Patrimonio Cultural – Ambiental Universidad De Sevilla y Universidad Central.

Madariaga, R. (1998). *Sismicidad de Chile*. En revista Física de la Tierra nº10. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, p. 221-258.

Oficina Nacional de Emergencias ONEMI (1986). *Informe sobre el terremoto de marzo 1985 de Chile*. Documento digital disponible en www.onemi.cl [28/06/2013].

Pierotti, P; Ulivieri, D. (2001). *Culture sismiche locali*. Pisa: Edizioni Plus.

Tonietti, U. (2010). *Architettura mediterranea e culture costruttive*. In Mecca, Dipasquale et al. *Chefchaouen, Architettura e Cultura Costruttiva*. Pisa: ed. ETS, pp.23-26.

Urrutia, R.; Lanza, C. (1993). *Catástrofes en Chile 1541-1992*. Santiago: Ed. La Noria.

Varios autores (2000). *Santiago Poniente. Desarrollo urbano y patrimonio*. Santiago: Ediciones Andros.

Sitio del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile. <http://www.sismologia.cl/> [28/06/2013].

Notas

(1) El Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile (GUC en sus siglas en inglés) posee un registro histórico con los terremotos cuya magnitud haya superado los 7°Ms ocurridos desde el año 1570 a la fecha. Allí se especifican también otros datos como las coordenadas del hipocentro, la hora local y los efectos colaterales como tsunamis. Para mayor información ver <http://www.sismologia.cl/>.

(2) La tesis doctoral de la autora titulada "*Culturas constructivas en tierra y riesgo sísmico. Conocimiento de la arquitectura tradicional chilena y evaluación de su vulnerabilidad frente a los sismos*" fue realizada entre los años 2009 y 2012 en el Departamento de Tecnología de la Arquitectura de la Universidad de Florencia, Italia. El profesor tutor de tesis fue el profesor arquitecto Saverio Mecca, miembro de ISCEAH-ICOMOS, y los co-tutores fueron los profesores arquitecto Ugo Tonietti del Departamento de Construcción y Restauración de la Universidad de Florencia y el ingeniero Julio Vargas Newmann de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

(3) *Ibidem*.

(4) La "Zona Típica" es una de las cinco categorías de protección del patrimonio que contempla la Ley de Monumentos Nacionales 17288. La Zona Típica protege conjuntos residenciales, poblados o partes de ellos, u zonas alrededor de Monumentos Históricos, donde lo importante es el valor arquitectónico y ambiental del conjunto.

(5) adobillo: bloque de tierra y paja, amasado a mano y formado dentro de un molde de madera. Se diferencia del adobe chileno por sus dimensiones (60x15x30) cm, es decir por ser la mitad de un adobe en su ancho, y por poseer en sus extremos dos muescas de 1'x1' que permiten que éste quede afianzado a los pies derechos de madera que lo sujetan.

(6) En Chile se entiende por tabique, a una estructura de madera conformada por pies derechos, soleras superiores e inferiores de amarre y elementos intermedios como diagonales o tablas horizontales que sirven para arriostrar el conjunto.

(7) *Pachamama* o *Madre Tierra* es la máxima deidad del mundo andino y está representada por las altas figuras de los volcanes y los cerros.

Currículo

Natalia Jorquera Silva, Arquitecto, Doctora en Tecnología de la Arquitectura, miembro del comité científico ISCEAH-ICOMOS y de la Red PROTERRA. Académica del Departamento de Arquitectura de la Universidad de Chile, realiza Docencia e Investigación en el campo de la arquitectura vernacular, las culturas constructivas locales y la prevención del riesgo sísmico del Patrimonio.