

# ESTRATEGIAS MORFOLÓGICAS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE PARA LA CONSTRUCCIÓN CONTEMPORÁNEA EN TIERRA PORTANTE

**Macarena Gaete Cruz**

Master en Arquitectura (MARQ).

Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC).

Agustín De Negri 5311, Vitacura, Santiago, Chile.

Tel. (+56) 2 218 23 53, Cel. (09) 9 541 59 37

E-mail: mgaete1@uc.cl

**Tema 3:** Técnicas, Construcción e I&DT.

**Palabras Clave:** Adobe, tapial, sismo, reforzamiento, morfología.

## Resumen

Existe una pérdida de las tecnologías tradicionales en Chile, y varios países, debido a la acción de los terremotos, y la consiguiente desconfianza que se tiene en ellas. La ausencia de criterios o normativas nacionales que regulen las construcciones que consideren la tierra como material predominante y/o estructural limita su uso. Ahora, la aparición de métodos de reforzamiento para mamposterías macizas portantes en tierra cruda supuso una oportunidad de re-validación de dichas técnicas. Sin embargo, tanto las propuestas como los ensayos revisados, consideran morfologías de viviendas tradicionales que resultan, en ocasiones, inadecuadas o indeseadas en el escenario sísmico.

Pese a los inigualables beneficios inherentes a la construcción con tierra, tanto en términos económicos y sociales, como ecológicos, resulta imposible desconocer su alta vulnerabilidad estructural que se debe en parte, a su poca resistencia a la tracción ante eventos sísmicos. El presente artículo consiste en un resumen del trabajo realizado hasta la fecha por la autora, con motivo de la ejecución de su tesis magistral. Dicha tesis contempló un estudio que no se ha hecho mayormente por los investigadores en la materia. Si bien existen diversas recomendaciones de construcciones en tierra a modo de manual, se intentó relacionar la variable de la forma construida con un método específico de reforzamiento sismo resistente. Se llevó al extremo a dicho sistema mixto con el fin de ser un aporte al conocimiento y contribuir a su estudio específico.

Se estudió el comportamiento y vulnerabilidad de edificaciones en tierra portante (adobe y tapial). Se consideró también el patrón de falla de las construcciones de carácter hispano-andinos que son expuestos por los principales autores investigadores de la materia. De este análisis, se dilucidó el sistema de reforzamiento estructural más efectivo para obras nuevas, con el fin de profundizar en el estudio de un caso específico de refuerzo para su posterior desarrollo morfológico.

Ahora, entendiendo específicamente que la débil resistencia a tracción de las mamposterías en tierra provoca su alta vulnerabilidad sísmica, y considerando que reforzarlas con materiales de mayor ductilidad permite solucionar este problema, se sostiene que **la morfología de la construcción es una variable fundamental, en tanto es capaz de minimizar las exigencias a tracción y potenciar las compresiones.**

## 1. INTRODUCCIÓN

La edificación con tierra se remonta a miles de años. Es difícil decidir si este material fue el primero con que construyó el hombre, sin embargo, es claro que junto con las fibras naturales y las piedras, la tierra es uno de los materiales más ancestralmente utilizados.

Hoy en día la construcción en tierra sigue vigente de manera esporádica y localizada en los sectores rurales de Chile. Estas prácticas son en general espontáneas y no cuentan con el asesoramiento de manuales. De hecho, nuestro país carece de

normativas que regulen este tipo de construcciones, aún cuando Chile es un país sísmico.

La construcción de nuevos proyectos de tierra enfrenta diversos problemas, entre los cuales destaca el hecho de que una adecuada estructuración antisísmica no es siempre lograda. Este estudio intentará equiparar criterios, con respecto a las recomendaciones, en términos tanto formales, como constructivos que son necesarios para obtener construcciones antisísmicas de tierra.

La caracterización de este tipo de técnicas ha sido descrita por diferentes autores y normas, que han analizado este tipo de construcción en base a su vulnerabilidad y comportamiento sísmico. El presente estudio forma parte de una tesis de magister e intentará articular dicha información, ofreciendo recomendaciones comparadas. Esta recopilación podrá servir como base para la elaboración de normativas futuras.

## **2. FUENTES DE INFORMACIÓN**

Este estudio está basado en varias publicaciones existentes sobre la materia, además del ejercicio de ensayos prácticos. Si bien, muchas publicaciones son bastante conocidas por las personas que construyen con tierra, este artículo es un aporte recopilatorio y comparativo. Además, se consideró la inclusión de la norma peruana y entrevistas realizadas por la autora, que serán publicadas en su tesis magistral. Las publicaciones incluyen los siguientes autores; John Norton, Paul Graham Mc Henry, Instituto CRATerre, Gernot Minke, Julio Vargas, Jorge de Olarte, Hugo Pereira, Red Proterra, e incluye la Norma peruana E.080. En general se trata de publicaciones de las últimas dos o tres décadas.<sup>(1)</sup>

## **3. OBJETOS DE ESTUDIO; ADOBE Y TAPIAL**

La investigación se centrará en dos técnicas tradicionales, bastante difundidas en Chile y el mundo, y que corresponden a utilizaciones de la tierra como elemento estructural del muro en las construcciones. Esta labor estructural de la tierra significa una mayor vulnerabilidad sísmica, por lo que merecen un estudio específico. La técnica del adobe se refiere a los bloques o ladrillos de tierra producidos a mano en moldes llenados con barro y secados al aire libre. La construcción con adobe se realiza como cualquier mampostería, pero se utiliza mortero de tierra. El sistema denominado tapial consiste también en la construcción de bloques de tierra, pero estos se van construyendo directamente en el muro en su ubicación definitiva. Se utilizan encofrados parciales que se van rellenando por capas de tierra que se comprimen de manera mecánica o manual. Los moldajes se van trasladando alrededor del edificio en capas horizontales ascendentes hasta constituir una mampostería de tierra que carece de mortero.

La investigación se realiza en un contexto de alto riesgo sísmico y recursos limitados con una ética ecológica, razón por la cual no se considera en este estudio el uso de estabilizantes que pudieran significar un mayor costo o la contaminación de la tierra. Por este mismo motivo no se consideró en el estudio la construcción con bloques de tierra comprimida (BTC), a pesar de que actualmente, es una técnica bastante difundida e investigada.

Para ambas técnicas, adobe y tapial, se estudiaron las capacidades estructurales generales, además de su comportamiento frente al sismo, y su patrón de daños hasta llegar al colapso. Luego se realizó un estudio específico de las recomendaciones, tanto formales, como constructivas de diseño antisísmico de muros portantes de tierra. Se realizó una comparación entre diferentes autores y luego una unificación de criterios. Esto dio por resultado una recopilación de las principales directrices de diseño antisísmico para construcciones en tierra portante.

Una vez realizada la comparación, se procedió al desarrollo de prototipos a escala que fueron sometidos a ensayos de impacto, los cuales mostraron comparativamente las morfologías de construcción más acordes con las técnicas de tierra portante. Por ser este artículo un reporte del avance parcial de la tesis, se expondrá aquí más bien el aporte recopilatorio, y luego, una vez sistematizados los ensayos, se procederá a exponerlos durante la ponencia.

#### 4. DOSIFICACIÓN DE LA TIERRA Y EVALUACIÓN DE SU RESISTENCIA.

La elaboración de muros de adobe o tapial consiste en dos etapas principales: trabajos previos de dosificación de la tierra, y elaboración de bloques y/o muros.

##### 4.1 Ensayos de reconocimiento, dosificación y humedecimiento de la tierra.

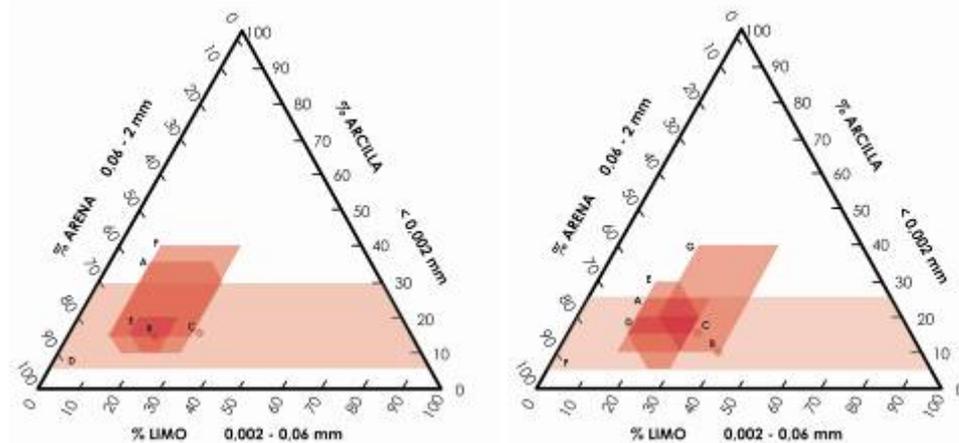


Fig.1 - Gráfico recopilatorio de dosificaciones recomendadas para adobe y tapial respectivamente. (Créditos: Macarena Gaete, 2009)

La primera etapa está compuesta por una serie de acciones; selección de las tierras, su extracción, transporte, trituración, dosificación, humedecimiento y mezclado final.

Se hizo un repaso por las características que deberá tener una tierra para utilizarse para cada técnica ya que la composición granulométrica posee una influencia en su desempeño estructural. Se vio que, además de no coincidir todas las recomendaciones, estas se basan en estandarizaciones de granulometrías diferentes, lo que hace aún más difícil su comparación. La imagen muestra rangos recomendados de dosificaciones para ambas técnicas. Es posible notar que si bien existe una coincidencia entre los rangos, la diferencia de dosificación aparente entre ambas técnicas pareciera no ser tal.<sup>(2)</sup> Luego la humedad de la mezcla se analiza en base a ensayos de humedad, bajo recomendaciones dadas por los diferentes autores. Al parecer es este aspecto el que significa la principal diferencia entre cada técnica en términos de la mezcla a utilizar.

#### 5. COMPORTAMIENTO Y VULNERABILIDAD SÍSMICA; PATRÓN DE DAÑOS.

Las técnicas que se estudiaron constituyen muros macizos de tierra que sirven de masa y estructura del muro. Es su naturaleza fragmentaria la que permite considerar ambas técnicas como mamposterías portantes y serán consideradas en el estudio ya que su comportamiento estructural es semejante. La tierra es un material frágil, tiene una alta resistencia a la compresión, pero baja a la tracción. Se analizó en este estudio los intentos por aumentar su baja ductilidad y privilegiar estrategias compresivas de estructuración.

Es difícil determinar valores de resistencia que se ajusten con exactitud a cada técnica, sin embargo hay ciertas publicaciones que establecen rangos recomendables para cada uno. Es sabido, y se observa en el gráfico, que el tapial es algo más resistente que el adobe. Estos valores pueden obtenerse de ensayos de campo o laboratorio tales como de compresión, módulo de ruptura, penetración del cuchillo, etc. Como se observa en la tabla, las resistencias a la compresión alcanzadas son bastante diferentes y varían presumiblemente por los distintos sistemas de medición utilizados. Lo que proporciona esta tabla es una comparación de las principales publicaciones, cosa que sirve de cualquier modo cuando se requieren los valores para modelaciones digitales de análisis estructurales. Es posible notar que no aparece información alguna acerca de Módulo de Poisson, lo que podría deberse a lo impredecible del material y a la dificultad de determinación.

AUTORES	TÉCNICA	VALORES						
		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	COMPRESIÓN DIAGONAL	MÓDULO DE RUPTURA	MÓDULO DE ELASTICIDAD O YOUNG	MÓDULO DE POISSON	COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO
		Kgf/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>		
DE OLARTE	Adobe	12						
	Tapial	13,4 15,8	2,41					6%
CRATERRE	Adobe	20,3(seca) y 5(húmeda)						
	Tapial	20,3(seca) y 5(húmeda)	5 - 10,19(seca)					5 y 10m
MC HENRY	Adobe	18,28(Patty) y 30,86(Clough)			3,51			
	Tapial	31,63(Patty) y 59,76(Clough)						
MINKE	ambos	5 - 50.				60 - 70		
NORTON	Adobe	15 - 20 o más						
GETTY	Adobe					< 7030,69		
N. MÉXICO USA NMAC14.7.4	Adobe	≥ 21,4			≥ 3,56			
	Tapial	> 21,4						
N. ZELANDA NZS4298	Adobe	> 13,25			> 2,54			
BULLETIN 5	Tapial	≥ 20,39						
OIA 1970	Adobe	≥ 17,33						
CYTED	Adobe	≥ 12,23						

Fig.2 - Gráfico recopilatorio de valores estructurales. (Créditos: Macarena Gaete, 2009)

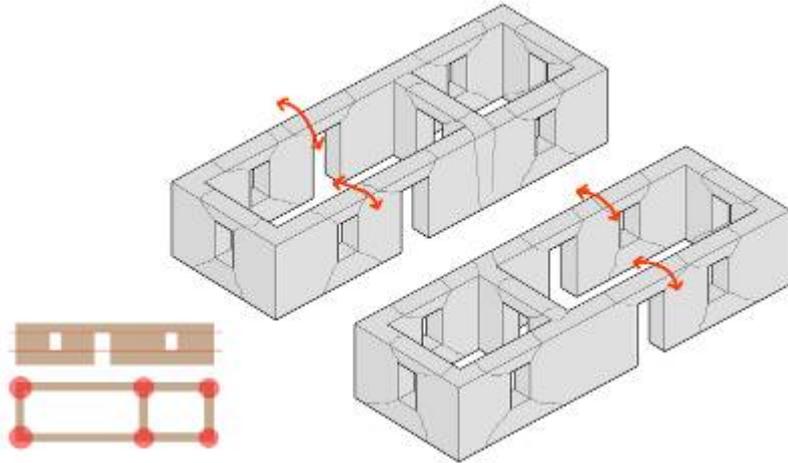


Fig.3 – Patrón de daños de una edificación tradicional y áreas de mayor riesgo estructural.  
(Créditos: Macarena Gaete, 2009)

Sin embargo, no es solamente su capacidad resistente la que proporciona indicios de su vulnerabilidad, sino también el comportamiento específico de las técnicas ante un sismo. Los análisis de cálculo de las estructuras pueden realizarse durante el rango elástico de la construcción, y debido a que este es muy corto en las construcciones de tierra, al análisis se hace difícil. De esta forma, una vez que se han formado grietas en la estructura, la predicción del comportamiento se complejiza. La imagen consiste en un resumen de los principales modos de falla, tanto de las construcciones de adobe, como de tapial, establecidos por los autores. La importancia de esta descripción es que grafica la debilidad estructural de las mamposterías de tierra y su comportamiento, proporcionando a los proyectistas la posibilidad de prever la aparición de las fallas para prevenirlas. Estas grietas aparecen al someterse la estructura a esfuerzos excesivos de tracción producto del movimiento del suelo y la inercia que ejerce el peso de la estructura. Dependiendo de la dirección de la edificación, los impulsos se generan en el plano del muro o fuera de él. Es importante prever que, si bien estos daños son predecibles, es necesario saber que en ocasiones, el encuentro de daños provoca un desprendimiento de partes del muro. Para la prevención de las grietas existen dos caminos posibles y complementarios: la utilización de formas construidas adecuadas que privilegien las compresiones minimizando las tracciones, o la estructuración complementaria de los elementos de la edificación con elementos de mayor resistencia a la tracción (reforzamientos estructurales).

## 6. ESTRATEGIAS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE; ESTRUCTURACIÓN Y MORFOLOGÍA.

### 6.1 Morfología del muro y el conjunto edificado.

En términos formales, los autores entregan parámetros de dimensión, morfología y configuración de los elementos de la construcción; los muros, los vanos, las esquinas y el conjunto edificado. La intención de esta serie de parámetros, es asegurar un correcto desempeño sísmico de las construcciones portantes en tierra. En este estudio nos centramos sólo en los parámetros que tienen relación con el muro como elemento estructural de la edificación.

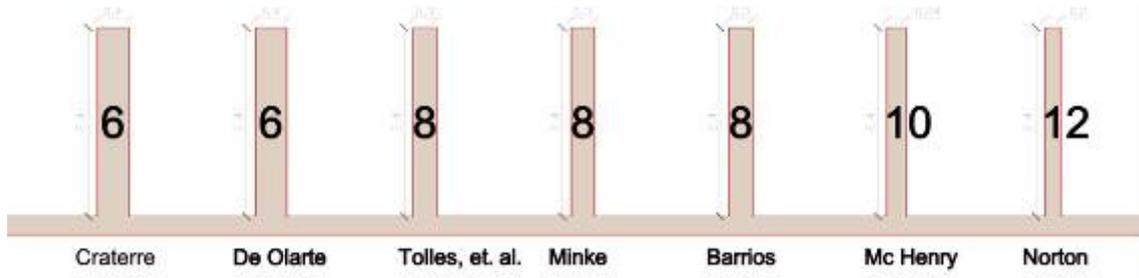


Fig.4 – Recopilación de esbelteces. (Créditos: Macarena Gaete, 2009)

Con respecto a la forma del muro se ha establecido que la relación espesor y altura es importante a la hora de considerar su geometría estructural. Esto se debe a la labor que posee la forma en la estructuración de las construcciones. Mientras algunas estructuras privilegian las tracciones, la tierra necesita una priorización de las compresiones para asegurar su estabilidad, más aún en escenarios sísmicos. La imagen muestra las esbelteces recomendadas por varios autores. Los ingenieros del Getty Conservation Institute establecen que existen tres clasificaciones de esbelteces; muros gruesos, muros moderados y muros delgados. Estos últimos, establecen ellos, deben considerar el reforzamiento con otros materiales, ya que si no, son incapaces de sobrellevar los sismos. Pareciera ser que el límite máximo de esbeltez para muros portantes de tierra en áreas sísmicas correspondería a 8. Esto debido a que los valores inferiores recomendados por Mc Henry y Norton no especifican que correspondan a recomendaciones para zonas sísmicas. Con respecto a la longitud del muro considera el reforzamiento con contrafuertes y/o vigas superiores. Con respecto a la forma del muro en corte, no hay especificaciones particulares, más que la recomendación de que se tienda a formas trapezoidales.

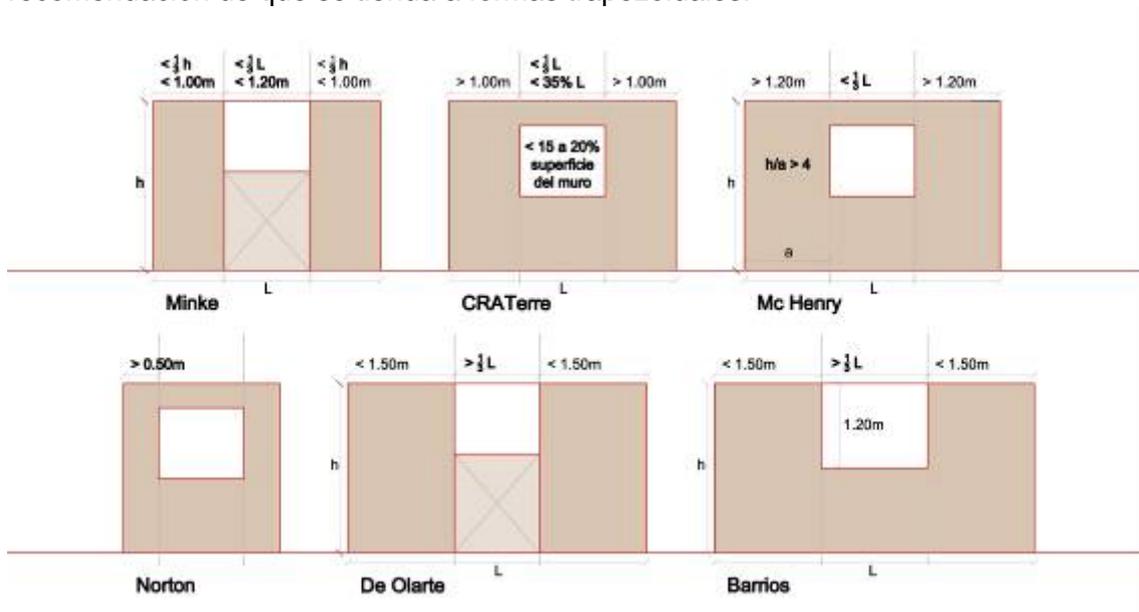


Fig.5 – Recopilación del dimensionamiento de los vanos. (Créditos: Macarena Gaete, 2009)

El estudio de los vanos se ha referido más que nada a dimensionar los largos admisibles de los mismos, a la vez que los largos de los machones que los conforman. En este sentido, pareciera haber un cierto consenso de que los machones y los vanos debieran medir entre 1.00m y los 1.50m. De esta forma, la medida que establece que el ancho de los vanos debiera medir  $\frac{1}{3}$  del largo del muro parece acertada. Llama la atención la recomendación de Jorge de Olarte que establece un mínimo de 0.30m y un máximo de 1.50m en la medida de los machones, cosa que se diferencia de las demás recomendaciones. Ahora, hay que considerar que el sistema CET de dicho autor, es un muro reforzado, cosa que cambia la perspectiva estructural del sistema. Por otro

lado, parece importante hacer notar que, tanto Gernot Minke, como Jorge de Olarte, promueven la utilización de alfeizares de materiales con mayor flexibilidad. También promueven, junto con Gastón Barrios, la supresión de los dinteles de tierra, y su unificación vertical con la viga superior. Lo que se intenta es suprimir las áreas de mayor vulnerabilidad de la edificación, los vanos, que consisten en cortes parciales del largo del muro. Estos aspectos, si bien no cuentan con análisis publicados que los avalen, parecen ser recomendaciones acertadas. Ahora, con respecto a la forma de los muros, se toma como ley, la ortogonalidad, ya que nadie considera soluciones distintas en este aspecto.

## **6.2 Estructuración del muro y los componentes de la edificación.**

El diseño sísmico basado en la estabilidad trata de rescatar las características positivas de disipación de energía que los muros de tierra presentan después de aparecidas grietas. Esto lo hace minimizando los daños estructurales y limitando los desplazamientos de los pedazos de muro. Esta acción tiene como fin evitar el colapso y disminuir el riesgo que esto supone para los ocupantes.

Con respecto a la estructuración, se estudiaron de las recomendaciones antisísmicas en términos constructivos y estructurales. Se concluyó que existe cierto consenso de que el correcto desempeño sísmico de las construcciones depende de la correcta concepción y unión de los elementos (las vigas soleras, los cimientos y la techumbre) que deberán trabajar unitariamente ante un sismo.

Con respecto a las vigas, los autores en su totalidad recomiendan su presencia. El principal propósito de estas vigas, es conformar un collar de amarre en la parte superior del muro, que no sólo limite el movimiento de los muros hacia el exterior, sino también hacia el interior. Esto provoca que las construcciones se comporten unitariamente aún cuando los muros, como en el caso del sistema CET, sean monolíticos y discontinuos los unos de los otros. Además, la viga cumple la función de soportar el peso de la techumbre y distribuirlo uniformemente a lo largo del muro. Los autores establecen también que las vigas deberán estar bien ancladas a la parte superior de los muros, con el fin de tender a una estructura unitaria.

Dentro de los contextos sísmicos, los autores parecen recomendar siempre cimentaciones de hormigón. Si bien existen construcciones exitosas con fundaciones de tierra, ladrillos y piedras, el hormigón da una mayor resistencia a los asentamientos diferenciales durante los sismos. Con respecto a la forma, cabe decir que los parámetros convencionales para la albañilería podrán ser utilizados. Considerando, sin embargo, que el peso de estas construcciones de tierra es relativamente mayor y bastante significativo. Se deberá considerar también el correcto anclaje de los cimientos con el muro mediante varillas.

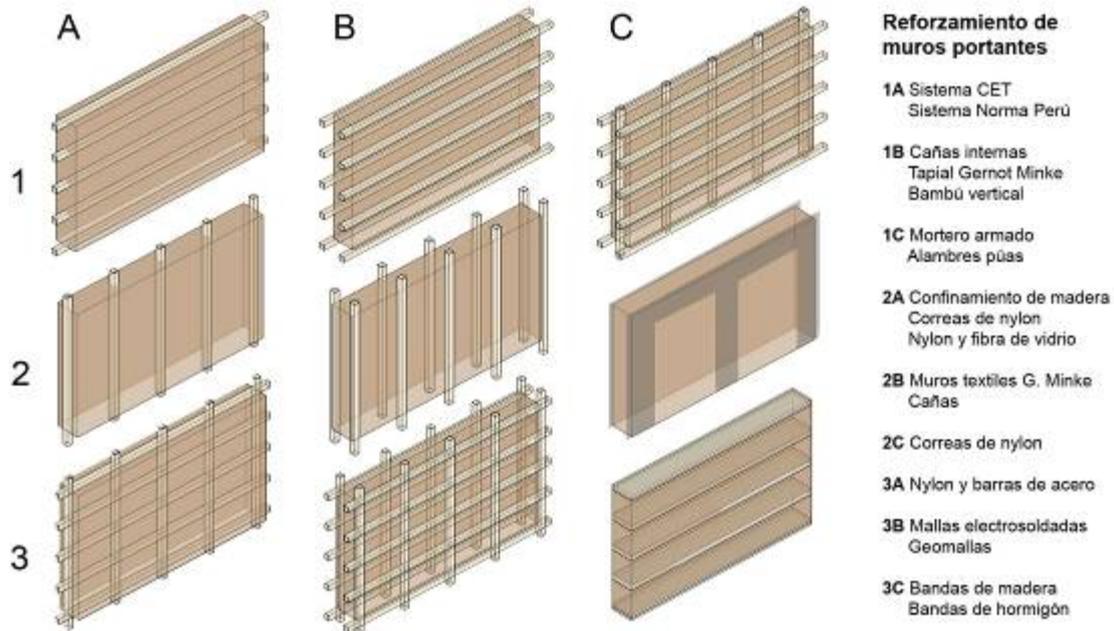


Fig.6 – Esquema de los distintos sistemas de reforzamiento para muros de adobe o tapial.  
(Créditos: Macarena Gaete, 2009)

Se habló de la importancia de reforzar muros macizos de tierra portante para proporcionar al muro la resistencia a la tracción y ductilidad necesaria para sobrellevar los sismos sin derrumbes. La imagen muestra las tipologías de reforzamientos que se han recopilado hasta el momento. Estos consisten en varillas, huinchas o tablas de diferentes materiales: madera, nylon, caña, metal y mallas. La columna A muestra los reforzamientos al interior del muro. La columna B, los externos. La columna C muestra casos diferentes, como la estructura mixta interior-externo (C1), las mallas desarrolladas por la Pontificia Universidad Católica del Perú (C2) y finalmente las bandas horizontales de madera u hormigón. Aún el estudio no contempla una comparación certera del mejor o peor funcionamiento de los diferentes sistemas. Lo que sí es posible decir, es que el Getty Conservation Institute privilegia la estructuración interna, por sobre la externa. Por otro lado, parece adecuado considerar refuerzos en ambas direcciones, ya que estos casos consisten casi en una malla que resiste los esfuerzos. En cualquier caso, parece adecuado acentuar el reforzamiento en las zonas críticas donde comienzan y se acentúan las fallas, como lo son las esquinas y los dinteles de vanos.

## 7. REFLEXIONES FINALES Y CONCLUSIONES

Consientes de la necesidad de poner a prueba estas recomendaciones, el estudio intentó recopilarlas y compararlas como un primer paso. Además se realizó un esfuerzo por comprender el comportamiento de las estructuras portantes de tierra con el fin de realizar la segunda etapa de la investigación; el ensayo morfológico. El trabajo que prosigue, consiste en la puesta a prueba de prototipos a escala. La intención es develar las morfologías constructivas que correspondan a una mejor estructuración para estas técnicas en particular, y se parte de la premisa de que el modelo hispano (ortogonal) no es el más adecuado para las técnicas del adobe y el tapial en zonas sísmicas. Se apuesta por que, si bien podrían considerarse como menos utilitaria (al menos en un pensamiento convencional), las morfologías circulares, tienden a distribuir las fuerzas de manera menos concentrada, y por lo tanto más conveniente. Con respecto a la ubicación y magnitud de los vanos, se apuesta por la supresión de los dinteles evitando así la concentración de tensiones.

Ahora bien, es imposible desconocer y demandar la existencia de fuertes vacíos de conocimiento que provocan la formulación de mitos e inexactitudes en torno a estos temas. Dichos vacíos se deben principalmente a la inexistencia de estandarizaciones internacionales, capaces de regir, tanto ensayos como análisis digitales de los prototipos. Junto con esto mismo, es necesario denunciar la pequeña cantidad de criterios de diseño antisísmico que se encuentran en publicaciones y que explican los parámetros de justificación de dichas recomendaciones. Aparecen contradicciones, como por ejemplo que los muros soporten la techumbre o no lo hagan. Mientras el ingeniero Gernot Minke propone prototipos interesantes con estructuración independiente, otros autores establecen que el peso de la techumbre es una herramienta para arriostrar los muros. Recomendaciones cruzadas como estas podrían significar dos cosas; publicadores con poca experiencia y respaldo técnico, o recomendaciones no cabalmente desarrolladas ni explicitadas.

Parece necesario referirse a la dificultad con la que se accede a la información en Chile. Tanto en términos de publicaciones, como en el acceso a laboratorios equipados para fines de la evaluación estructural, son acciones que son aún en Chile una quimera. Se debe mencionar que se está consciente que varias recomendaciones importantes han quedado fuera del estudio debido a sus elevados costos de adquisición o imposibilidad temporal.

### **Bibliografía**

Arquitectura en Tierra. APUNTES, Instituto Carlos Arbeláez Camacho para el patrimonio arquitectónico y urbano (ICAC). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia, vol. 20, (2). Julio-Diciembre 2007.

BARRIOS, Gastón. Manual de construcción en adobe. 2da Edición. Santiago de Chile, Editorial Universitaria, enero de 1994.

BLONDET, Marcial. VILLA, Gladys. BRZEV, Svetlana. Construcciones de Adobe Resistentes a los Terremotos: tutor. Earthquake-Resistant Construction of Adobe Buildings: A tutorial. [en línea]: Publicado como una contribución a la Enciclopedia Mundial de vivienda del EERI/IAEE World Housing Encyclopedia, Marzo de 2003. [fecha de consulta: Junio de 2009]. Disponible en: [www.world-housing.net](http://www.world-housing.net)

CRATerre, HOUBEN, H., GUILLAUD, H. CRATerre. Traité de construction en terre. Editions Parenthèses, 3era edición, Marsella, Francia, 2006.

DE OLARTE, J., GUZMAN, E. Manual de edificación con tierra armada. Diseño, cálculo y construcción con el sistema CET. Comunidad de Madrid, Madrid, España, noviembre de 1993.

Informe técnico, Comité "ADOBE" por Camilo Sánchez "et al". [En línea] pdf, Santiago de Chile, Instituto de la Construcción, Junio de 2005. [Fecha de consulta: 28 de Mayo de 2009] Disponible en: [www.iconstruccion.cl](http://www.iconstruccion.cl)

JIMENES, Carmen., CAÑAS, Ignacio. The selection of soils for unestablished earth building: A normative review. [en línea]: Departamento de Construcción y Vías Rurales, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, Marzo de 2005. Disponible en línea desde septiembre de 2005. [fecha de consulta: Junio de 2009]. Disponible en: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

Ley TB-2405-1. Adobe Policy. San Diego County, California, USA, 7 diciembre de 1981.

RED PROTERRA [en línea]: 2009-. [Fecha de consulta: Junio de 2009]. Disponible desde internet: [www.redproterra.org](http://www.redproterra.org)

McHENRY Jr., Paul Graham. Adobe and rammed earth buildings. Design and construction. 2da Edición. Arizona, The University of Arizona Press, 1984.

MINKE, Gernot. Manual de Construcción en tierra. La tierra como material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual. 2da Edición 2001, Montevideo, Uruguay, Editorial Nordan Comunidad, 1994.

MINKE, Gernot. Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de tierra. 2da Edición Abril 2005, Alemania, Forschungslabor fur Experimentelles Bauen, Universidad de Kassel, Septiembre 2001.

NORMA E.080. Norma Técnica Adobe. [en línea] Perú. [fecha de consulta: Junio 2009]. Disponible en: [www.ing.udep.edu.pe](http://www.ing.udep.edu.pe)

NORTON, John. Building with earth. A handbook. 2da edición. Reino Unido. Intermediate technology publications, 1997.

SAN BARTOLOMÉ, A., QUIJUN, D., ZEGARRA, L. Técnicas para el reforzamiento sísmico de viviendas de adobe. [en línea] XIV CNIS Guanajuato León, Perú. [Fecha de consulta: Junio de 2009] Disponible en: [www.preventionweb.net](http://www.preventionweb.net)

Tolles, E. Leroy, Edna E. Kimbro, y William S. Ginell, Frederick A. Wedster. Seismic Stabilization of Historic Adobe Structures. Final Report of the Getty Seismic Adobe Project. CGI Scientific Program Reports. [en línea]: Getty Conservation Institute. Los Angeles, USA, 2000. [fecha de consulta: Junio 2009]. Disponible en: [www.getty.edu/conservation/](http://www.getty.edu/conservation/)

Tolles, E. Leroy, Edna E. Kimbro, y William S. Ginell. Guías de planeamiento e ingeniería para la estabilización sismorresistente de estructuras históricas de adobe. Informes del Programa Científico del GDI. [en línea]: Getty Conservation Institute. Los Angeles, USA, 2002. [fecha de consulta: Junio 2009]. Disponible en: [www.getty.edu/conservation/](http://www.getty.edu/conservation/)

VARGAS, Julio, TORREALBA, Daniel, BLONDET, Marcial. Construcción de casas saludables y sismorresistentes de Adobe Reforzado con Geomallas. Perú, Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú, 2007.

#### **Notas**

(1) Las entrevistas fueron realizadas a especialistas del área; Hugo Pereira (Chile), Julio Vargas Neumann (Perú), Santiago Arias (Chile), Pedro Hidalgo (Chile), Jorge de Olarte (Perú), Marcelo Cortés (Chile).

(2) Es importante hacer notar, que se consideró en el estudio, el uso de estabilizantes no contaminantes, como la paja (adobe) y la compactación (tapial).

#### **Curriculum**

**Macarena Gaete Cruz:** Arquitecta de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. Master en Arquitectura (MARQ) en realización en la misma Universidad. Tesis proyectual para ambos títulos en tecnologías de construcción en tierra cruda. Esta ponencia corresponde a parte de la investigación realizada para graduarse del Master en Arquitectura. 2009 trabajó en la oficina Surtierra Arquitectura junto al arquitecto Marcelo Cortés.