

EVALUACIÓN DE DAÑOS Y SOLUCIONES PARA CONSTRUCCIONES EN TIERRA CRUDA: MANUAL DE TERRENO. DOCUMENTO TÉCNICO CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

Juan Enrique González Gain¹, Hugo Enrique Pereira Gigogne²

¹Estudio de Arquitectura JEGG, Santiago, Chile, estudio@jegg.cl

²Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago, Chile, pgigogne@gmail.com

Palabras claves: valor patrimonial, difusión, construcción, patologías, manual.

Resumen

El terremoto del 27 de Febrero de 2010 afectó la Zona Central de Chile causando importantes daños en el patrimonio arquitectónico construido a base de tierra. La escasa bibliografía referida a la reparación de este tipo de edificación motivó que un equipo profesional interdisciplinario de arquitectos, ingenieros y constructores civiles contribuyera a la elaboración de una guía para abordar éste tipo de intervención. Se gestionó financiamiento estatal a través de un concurso enfocado en la innovación tecnológica, lo que permitió la edición del Manual de Terreno.

En el proyecto gestionado y liderado por el arquitecto Juan Enrique González Gain se abordaron las cuatro técnicas constructivas a base de tierra con mayor presencia en Chile. Estas son el adobe, el tapial, la mampostería de piedra asentada en barro y la técnica mixta-tierra madera, particularmente quincha y adobillo.

El documento elaborado entrega una metodología práctica para la evaluación de daños y nociones básicas acerca de las causas de los daños, y propone una serie de alternativas de reparación.

En el libro se identifican los principales daños presentes en las construcciones en base a tierra, indicando origen, nivel de riesgo y elementos constructivos comprometidos. Expone también las principales soluciones a los daños identificados con una estrategia de intervención, especificando mano de obra, materiales, herramientas, equipos y detalles del proceso constructivo.

Para facilitar el uso del Manual, se ha incluido un índice de doble entrada que relaciona los daños diagnosticados con alternativas de soluciones disponibles, las que exponen una estrategia de intervención y recuperación de las edificaciones dañadas.

Esta publicación pretende ser un aporte en el camino de lograr una norma que acoja de manera adecuada los sistemas tradicionales de construcción, sin dejarlos de lado sólo por una equivocada aplicación o una mala preservación.

1. PRESENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

El "Manual de Terreno" (CDT, 2012) recopila importante y valiosa información acerca de los sistemas constructivos tradicionales que usan tierra en Chile, rescatando técnicas que se estimaban olvidadas y obsoletas. Este documento ha sido desarrollado en el marco del "Concurso Bienes Públicos para la Innovación y Fortalecimiento de Capacidades para la Reconstrucción 2010" impulsado por Innova Chile de CORFO⁽¹⁾ (Corporación de Fomento de la Producción) y es el resultado del trabajo riguroso de un grupo de profesionales expertos que posibilitó establecer criterios para la correcta identificación de los distintos sistemas constructivos tradicionales y la evaluación de los daños más comunes sufridos por las edificaciones a base de tierra. Al mismo tiempo entrega una serie de soluciones generales que permiten abordar prácticamente cualquier proyecto de restauración o reconstrucción con éste material.

El trabajo de investigación responde a un llamado a la innovación para la reconstrucción de infraestructura dañada por el terremoto del 27 de Febrero de 2010 y a la vez deja una base para la conservación y restauración ante futuros sismos. Innovación significa cambiar algo

introduciendo novedades y es en ese sentido que el documento rescata la experiencia de la construcción tradicional, agregando nuevas prácticas, nuevos materiales y nuevas tecnologías. Se convierte así en un esfuerzo por volver a comprender la tradición constructiva y arquitectónica de gran parte del territorio chileno y otorgarle renovado valor.

Como Manual de Terreno —de difusión gratuita a través de la Web⁽²⁾—, es una herramienta práctica que permite tanto a profesionales de la construcción como a cualquier interesado en preservar el patrimonio arquitectónico abordar un proyecto de reparación, restauración o preservación.

El documento recoge y transmite las formas arquitectónicas y las metodologías constructivas tradicionales y las pone al servicio del hombre moderno y su contexto, siendo un aporte a la reconstrucción y preservación patrimonial de edificaciones de tierra. Su presentación en fichas permite proyectar la información en el tiempo, ya que deja abierta la posibilidad de que se pueda completar, mejorar, corregir y aumentar.

Así, contemplando el pasado y los sistemas tradicionales como base de estudio y aprendizaje —ya que es fundamental reconstruir comprendiendo el lenguaje de la cultura y sus productos— y con una clara conciencia del presente y de las ventajas de la experiencia y la tecnología, se logró un documento con vocación de futuro que está al servicio de la preservación del legado cultural arquitectónico para las próximas generaciones.

1.2 Marco Teórico

Distintos autores estiman que entre un 40% y un 80%⁽³⁾ de la construcción en el mundo está hecha a base de tierra. La mayoría de quienes escriben, investigan o desarrollan proyectos de construcción con este material está de acuerdo en que se trata de un rango bastante amplio, probablemente porque gran parte de las obras que usan tierra se ubican en zonas remotas y en países en vías de desarrollo donde existe poco registro de las construcciones, lo que hace muy difícil llegar a una cifra más certera.

La construcción en tierra ha estado presente en el diseño arquitectónico y en el desarrollo de civilizaciones y ciudades desde hace más de 9.000 años. Todas las civilizaciones antiguas utilizaron tierra, tanto para la construcción de viviendas como para albergar edificios públicos.

Ya en la antigua Turquestán fueron descubiertas viviendas del 8.000 a.C., según lo describe Raphael Pumpelly en 1905, en su libro *Explorations in Turkestan*.

A lo largo del país se encuentra una gran cantidad de obras construidas con este material, desde las iglesias y viviendas altiplánicas, en las que se utiliza en gran medida la mampostería de piedra asentada en barro, hasta las grandes casonas de adobe de las zonas centro y sur, principalmente rurales. Entre estas dos zonas geográficas existe una gran gama de técnicas constructivas que se adaptan al entorno de acuerdo a la disponibilidad de materiales. Se encuentra el adobillo en Valparaíso; la albañilería de adobe reforzado con hierro en el Norte Grande; o la quinchá muy presente tanto en zonas urbanas como las zonas rurales.

La arquitectura patrimonial tradicional, construcciones vernaculares diseminadas en el territorio de tradición agraria, íntimamente ligada a la tierra, son elementos que caracterizan el paisaje y son parte importante de la identidad cultural e idiosincrasia. Desde la Colonia, los materiales de construcción utilizados en los campos chilenos han mantenido su carácter natural, con poco o nada de procesos de elaboración (tierra, barro, arcilla, piedra, madera...) Estos materiales son los que han conformado el espacio social y cultural.

Como todos los sistemas y materiales constructivos, la tierra cruda tiene limitaciones y virtudes. No fue materia de este libro destacar o calificar cada una de ellas. Sin embargo, se considera fundamental recuperar los conocimientos y aplicaciones de las técnicas utilizadas para aplicarlas adecuadamente y en función de las condiciones portantes, estéticas y arquitectónicas que se ajustan a la naturaleza de este material. Esto, reconociendo sus limitaciones, pero aprovechando sus posibilidades, sin llegar a extremarlas. Según Minke

(2001-2002, p.14) *la tierra se usa en casi todos los países, pero muy mal por falta de conocimientos correctos*, asegurando que existen muchos ejemplos de edificios antiguos que han resistido numerosos sismos, a diferencia de obras nuevas hechas con otros materiales.

La situación de Chile en esta materia es única ya que siendo uno de los países más sísmicos del mundo, tiene una gran tradición en construcciones de tierra sismo-resistente. Existen numerosas pruebas de ello donde es posible detectar edificios que han resistido innumerables terremotos sin sufrir mayores daños. Sin embargo, son las construcciones afectadas las que destacan negativamente. En el terremoto del 27 de febrero de 2010 en Chile, la gran mayoría de los casos de construcciones dañadas eran obras que habían sido intervenidas de mala manera, mal emplazadas y/o que no habían sido mantenidas adecuadamente.

1.3. Técnicas tradicionales más comunes en Chile

La investigación que arrojó como resultado el Manual de Terreno se focalizó en las técnicas constructivas más frecuentemente utilizadas en la arquitectura tradicional chilena.

Se acogieron las cuatro técnicas con mayor presencia y difusión. Es precisamente por la abundancia de construcciones que las utilizan, que se requiere prestarles mayor atención a la hora de pensar en reconstrucción y preservación del patrimonio.

El adobe es probablemente el más conocido de estos sistemas. Se trata de bloques de barro mezclado con paja y secados al aire. Con ellos se montan hiladas y se construyen los muros, pilares y contrafuertes que componen la estructura principal de una edificación (figura 1).



Figura 1. Villa de Alhué, Región Metropolitana 1969, Foto. H. Pereira.

La técnica mixta tierra-madera abarca varios sistemas compuestos, de los cuales este Manual destaca la quinchá y el adobillo. La técnica mixta usa la madera como estructura y el barro como relleno y recubrimiento. En la Quinchá se dispone sobre la estructura de madera un entramado del mismo material ya sea por una o ambas caras, o bien en los espacios que deja la estructura. Este entramado recibe luego barro proyectado conformando el revestimiento del muro. El adobillo no usa entramado de madera, sino adobes con forma especial, que rellenan el espaciado que deja la estructura. También recibe luego un recubrimiento de barro.

La técnica mixta tierra-madera ha demostrado un buen comportamiento estructural. En ella la madera es la que lleva la carga principal, en tanto el barro pasa a utilizarse principalmente como revestimiento o aislante. Este sistema constructivo es muy versátil desde el punto de vista del diseño, ya que la madera como estructura entrega muchas posibilidades.

La mampostería de piedra asentada en barro utiliza la masa de la piedra como estructura y el barro como aglutinante. Este es el sistema que probablemente implica un mayor desafío a la tecnología moderna a la hora de restaurar o reparar, porque la piedra generalmente no está confinada cuando se trata de muros y muchas veces no tiene recubrimiento. Además, se usa esta técnica mucho como cimiento y sobrecimiento en construcciones de adobe o tapial.

1.4 Estado del arte en Chile

La tradición arquitectónica de herencia española comenzó a ser socialmente sancionada a partir del año 1929 y luego en 1940 con la aparición de la norma anti-sísmica (INN, 1996), restringiendo mucho su uso.

Aproximadamente en la misma época se deja paulatinamente de enseñar el uso de estos materiales en las escuelas de arquitectura, ingeniería y construcción, dejando un gran vacío en el conocimiento de las técnicas tradicionales de construcción.

Con cada terremoto se pierden valiosos testimonios y aumenta la dificultad del traspaso generacional de los conocimientos de estos sistemas milenarios. Por lo tanto es cada vez más difícil encontrar personas calificadas para la construcción, restauración y preservación de este patrimonio.

El último gran sismo dejó en evidencia la falta de capacidad técnica y mano de obra preparada para responder adecuadamente al desafío que dejó el desastre natural. Sin embargo, se abrió la posibilidad de revisar las políticas de estado respecto de estos sistemas constructivos, de cuestionar las normas existentes e incentivar la investigación.

Actualmente en el mundo existen muchas iniciativas para preservar estos sistemas constructivos tradicionales aplicando tecnología innovadora, aprovechando los adelantos científicos y el mayor conocimiento respecto del comportamiento de los materiales frente a los embates de la naturaleza.

En regiones sísmicamente activas, como en Chile, el mantenimiento de estructuras a base de tierra debe incluir, además, la reparación estructural y la estabilización sismo-resistente. En el caso de las obras de carácter patrimonial, estas reparaciones debieran ser respetuosas del significado histórico de las mismas, procurando preservar su identidad en forma adecuada y coherente.

La falta de conservación se debe principalmente a la escasez de recursos, conocimiento y de mano de obra calificada. El terremoto del 27 de febrero del 2010 demostró claramente que falta una mejora en la aplicación de esta tecnología. La vulnerabilidad a daños o total destrucción por movimientos sísmicos de muchas estructuras a base de tierra y de mampostería no confinada ha sido una preocupación constante para las entidades y profesionales encargados de salvaguardar el patrimonio y herencia cultural en muchos países. Chile no puede quedarse atrás en estas iniciativas (figura 2).



Figura 2. Iglesia de Curepto, Región del Libertador Bernardo O'Higgins.
Estado del edificio luego del terremoto del 27 de febrero de 2010.

1.5 Objetivos

Las guías y directrices que propuso esta investigación, cuyo objetivo principal y fundamental fue la publicación y difusión del documento: “Evaluación de daños y soluciones para construcciones en tierra cruda: Manual de Terreno” y su difusión, buscan abordar los aspectos prácticos del problema de la reconstrucción patrimonial en este material, encontrar resultados adecuados tanto para la preservación del patrimonio arquitectónico dañado como para abrir nuevas posibilidades que incorporen los materiales tradicionales con técnicas modernas e innovadoras.

1. Uno de los principales objetivos de este Manual es la recuperación de manera organizada e innovadora de la identidad patrimonial de pueblos y ciudades de las principales Regiones de Chile que fueron seriamente dañadas tras este último terremoto a través del desarrollo de un documento que recoge y estandariza tecnologías constructivas orientadas a reconstruir y rehabilitar infraestructuras de interés patrimonial, rescatando su identidad arquitectónica, y al mismo tiempo mejorando los estándares de confort habitacional y a la vez cumpliendo con los reglamentos térmicos, acústicos y de fuego vigentes y minimizando la vulnerabilidad sísmica de la infraestructura rehabilitada o reconstruida.

Esta herramienta permite a propietarios, profesionales y técnicos de las Direcciones de Obras Municipales de los municipios afectados, y organismos de servicios públicos pertinentes, especificar de manera precisa y responsable, materialidades y sistemas constructivos que resguardan la memoria histórica de las localidades afectadas por el terremoto.

2. Se pretende sentar las bases para la creación de un Sistema Nacional para la Gestión de Riesgos en Infraestructura de Interés Patrimonial, estableciendo un sistema de control adecuado a las construcciones de carácter patrimonial, mediante el uso de una metodología para la evaluación ex-ante del riesgo sísmico de este tipo de infraestructura.

3. El documento establece los criterios para la revisión de las estructuras con los cuales se verifica el estado de conservación y se realiza el análisis de alteración estructural de acuerdo con las respectivas tipologías. Además, entrega criterios de periodicidad de fiscalización del estado de la construcción o reconstrucción de acuerdo a las consideraciones técnicas expuestas; y establece criterios de gestión que apoyan la revisión de las estructuras mediante la utilización de un formulario. Este formulario verifica el emplazamiento de la edificación, el estado de conservación de los materiales, su estructura y las alteraciones que ponen en riesgo la estabilidad de la edificación y la protección de sus ocupantes.

1.6 Cómo usar el Manual

El documento elaborado comprende cuatro partes desarrolladas y diseñadas para su uso en terreno:

1. Formulario de evaluación del estado general del inmueble que consiste en la elaboración de un registro sistematizado que permite describir desde el sistema constructivo y el emplazamiento de la edificación, hasta su morfología y caracterización general de daños.
2. Evaluación de daños que se refiere a la identificación específica de los síntomas y patologías que afectan la edificación mediante fichas ad-hoc. La caracterización de daños se ha clasificado en humedad; agentes bióticos; asentamientos y/o deformaciones; fisuras o grietas; desaplomes o desniveles; desvinculación de piezas; pérdida de material, desmoronamiento o colapso.
3. Soluciones. Se han desarrollado 52 fichas que detallan procedimientos y técnicas de reparación clasificadas en 6 estratos: fundaciones, pisos, muros, vanos, coronación y techumbre.
4. Índice de doble entrada que es un complemento a las fichas de Evaluación de daños y las de Soluciones. Una vez identificados los daños, este índice permite vincular

fácilmente mediante el cruce de códigos, las soluciones propuestas.

Con esta información, los profesionales de la construcción pueden elaborar las especificaciones técnicas necesarias, tanto para la elaboración de la reparación como para el desarrollo de un presupuesto de reparación (figura 3).

Evaluación de Daños y Soluciones para Construcciones en
Tierra Cruda
 Manual de Terreno

FICHA DE DAÑO

D.A.2

D.A. HUMEDAD

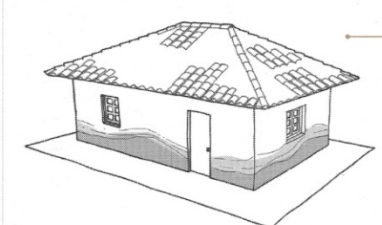
HUMEDAD EN LA PARTE INFERIOR DE MURO O TABIQUE

Elemento afectado: Muro-Tabique

Compromiso del daño: Grave

Sistemas afectados: AD, TM, TA, MP

S.A.8



DESCRIPCIÓN Corresponde a la presencia de agua impregnada en la zona inferior de los muros debido a la aspiración por capilaridad. Esto genera un reblandecimiento de la tierra cruda que afecta sus propiedades estructurales.

IDENTIFICACIÓN Se reconoce al evidenciar manchas de humedad en la zona inferior del muro o palpando zonas reblandecidas. En casos más avanzados, por la detección de una deformación del muro o la pérdida y/o desdoblamiento de material, lo que ocasiona debilitamiento de la estructura.

PARTICULARIDAD Este daño se presenta en zonas especialmente expuestas a la humedad causada por las lluvias. Suele aparecer en muros que se encuentran en contacto directo con el suelo, en ausencia de subcimientos que protejan desdoblamiento de tierra; en casos de aleros de cubierta muy cortos; y ante lluvias con vientos muy fuertes (en Chile comúnmente provenientes del norte). Son dañinas también las salpicaduras producto del tránsito vehicular cercano y la presencia de canales de evacuación de aguas lluvias en las proximidades del muro. También es posible apreciar este tipo de daño en muros interiores de la edificación a causa de filtraciones o de condensación en recintos húmedos, como baños y cocinas.

OBSERVACIONES La presencia de humedad en una zona puntual del muro podría ser ocasionada por filtraciones en instalaciones sanitarias.

Daños vinculados

D.A.3 HUMEDAD EN ZONAS PUNTUALES DE MURO O TABIQUE

D.C.1 ALINEAMIENTO DE CIMENTO Y/O SOBRECIMENTO

D.C.2 ALINEAMIENTO DE FUND.

D.C.4 DEFORMACIÓN DE LA PARTE INFERIOR DE MURO

Soluciones

S.A.7 CONTROLES DE LUBRIFICACIÓN EN EL ENTORNO DE LA EDIFICACIÓN

S.A.8 CONSTRUCCIÓN DE DRENAJE PERIFÉRICO EXTERIOR

S.C.11 REPOSICIÓN DE LA BASE DEL MURO CON FORMACIÓN

S.C.21 CORRECCIÓN DE TABIQUE SANITARIO

FICHA DE SOLUCIÓN

S.A.8

S.A. FUNDACIONES

CONSTRUCCIÓN DE DRENAJE PERIFÉRICO EXTERIOR

MANO DE OBRA: Profesional operario, Maestro albañil

S.A.8

MATERIALES

- Andes
- Tubería de drenaje
- Tubería PVC
- Sello hidrófugo

HERRAMIENTAS

- Cinta métrica
- Nivel
- Lienta
- Escalera
- Piqueta
- Chuzo
- Pala
- Pístan
- Carretilla

OBSERVACIONES
El drenaje periférico puede contribuir a proteger a la edificación de la humedad, cuando los daños causados por estas se deben a un mal emplazamiento.

PASO 1 - TRAZADO

Trazar con lientá la zona a excavar.



PASO 3 - APLICACIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

Aplicar emulsión asfáltica hidrosoluble en la cara exterior del sobrecimiento y/o concreto expuestos a humedad.



PASO 2 - EXCAVACIÓN

Excavar una zanja de 40cm de ancho, procurando mantener una pendiente de un 2% como mínimo.



PASO 4 - INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE DRENAJE ASFÁLTICA

Instalar tubería de drenaje en la zanja. Esta es una tubería flexible y con perforaciones que permiten el paso del agua.



- 1 Código de la ficha y tipo de daño / Nombre del daño específico.
- 2 Código de la ficha.
- 3 Indica tipo de daño.
- 4 Nombre del daño específico.
- 5 Indica el o los elementos afectados de la edificación.
- 6 Indica el nivel de compromiso del daño desde el menor al mayor: LEVE, MODERADO, GRAVE o SEVERO.
- 7 AD: Adobe.
TM: Técnica Mixta Tierra-Madera.
TA: Tapial.
MP: Mampostería de piedra asentada en barro.
- 8 Dibujo explicativo del daño descrito.
- 9 Descripción general del daño para ayudar a su detección y comprensión de las causas.
- 10 Indica otros daños posiblemente vinculados al descrito en esta ficha.
- 11 Indica código y nombre de las soluciones propuestas para este daño que se encuentran en este manual.

- 1 Código y nombre de la solución.
- 2 Indica zona afectada de la edificación.
- 3 Código de la ficha.
- 4 Nombre de la solución específica.
- 5 Indica el tipo de mano de obra requerida para elaborar esta solución.
- 6 Listado mínimo de herramientas necesarias para esta solución.
- 7 Listado de materiales mínimos necesarios.
- 8 Observaciones al tipo de solución. Si las hay, corresponde a aspectos importantes de considerar al llevar a cabo la solución propuesta.
- 9 Secuencia paso a paso explicando la metodología de reparación.

Figura 3. Muestra ejemplos de las fichas de Evaluación de daños y de Soluciones (CDT, 2012, p.17)

2. PREMISAS CONCEPTUALES

La principal premisa que se planteó en este proyecto es que la memoria histórica está necesariamente arraigada en la arquitectura tradicional y por lo tanto se vuelve indispensable pensar y desarrollar nuevas tecnologías que contribuyan al rescate del patrimonio arquitectónico tradicional chileno.

El terremoto del 27 de febrero de 2010 en Chile dejó en evidencia la falta de control y aplicación de técnicas adecuadas para los sistemas constructivos a base de tierra. Este lamentable hecho despertó una alarma general que más que abocarnos a solucionar este problema, detonó un llamado a olvidar nuestra tradición constructiva y desecharla a priori.

Al revisar experiencias internacionales vemos claramente que estos sistemas, lejos de ser desechados, son re-estudiados, siempre tomando en cuenta las falencias de los sistemas tradicionales y las ventajas que otorga la aplicación de nuevas tecnologías.

Las tecnologías y conocimientos del arte de la construcción actual permiten aprovechar los beneficios de las técnicas tradicionales y mejorarlas sustancialmente, encontrando en la cultura local una fuente de inspiración para renovarlos con originalidad y abriendo una oportunidad única para el estudio profundo de estos sistemas constructivos, no solo desde el punto de vista estructural (seguridad), funcional (espacialidad y confort) y estético en general, sino también abriendo la posibilidad de re-construir a bajo costo nuestra identidad cultural y memoria histórica dañada.

El concurso “Bienes Públicos para la Reconstrucción” ofreció la oportunidad de mejorar sustancialmente los sistemas constructivos tradicionales con la incorporación de tecnología y la aplicación de lo aprehendido de la experiencia de casos emblemáticos en el extranjero, contribuyendo en la tarea de la reconstrucción patrimonial, a un significativo avance económico y productivo enfocado a la preservación de la identidad cultural chilena.

2.1 Rescate del legado histórico

La primera parte del proyecto de investigación se centró en reconocer cuales eran los sistemas constructivos más utilizados en Chile, poniendo especial atención en la zona central, la más afectada por el último terremoto. Este proceso llevó a delimitar el campo de investigación al adobe, el tapial, la mampostería de piedra asentada en barro y la técnica mixta tierra-madera, particularmente en este último, a la quinchá y el adobillo.

La investigación reveló, salvo algunas excepciones, que desde hacía más de 50 años no se enseñaba en Chile como construir en tierra⁴. Por otra parte, las técnicas estaban en manos de muy pocas personas, las que en su mayoría, habían recibido los conocimientos como herencia cultural en forma directa o indirecta. Sólo un muy reducido grupo de personas, profesionales y académicos, se había instruido en las técnicas tradicionales rescatando la escasa información existente y complementándola con experiencia nacional e internacional.

Los cambios normativos de principios del Siglo XX dejaron en muy mal pie la construcción en tierra, quitándola del debate intelectual y de la práctica profesional.

Por todo lo anterior, el rescate del legado histórico es una tarea inconclusa hasta que se norme, legisle y vuelvan a enseñarse las técnicas tradicionales en las escuelas de arquitectura, ingeniería y construcción civil.

2.2 Actualización y complementación de técnicas constructivas en tierra

La falta de traspaso de conocimiento acerca de los sistemas constructivos tradicionales dejó un vacío de aproximadamente 50 años. Este vacío redundó en una dificultad para comprender las posibilidades que tienen los avances científicos y la tecnología de los materiales actuales para mejorar la construcción tradicional en tierra.

No es suficiente recopilar la información disponible acerca de los sistemas tradicionales. Es necesario investigar acerca de las posibilidades de poner a los nuevos materiales y técnicas constructivas al servicio de la infraestructura existente.

El argumento de esta premisa tiene dos focos de atención: la compatibilidad estructural y funcional; y la apariencia estética.

2.2.1 Compatibilidad estructural y funcional

Al reparar, restaurar o reconstruir infraestructura de interés patrimonial, normalmente se busca preservar el carácter original de la edificación, lo que puede ser un gran desafío.

Es por ello que el uso de nuevas tecnologías y materiales muchas veces presenta soluciones que evitan recaer en errores estructurales que pueden comprometer nuevamente la estabilidad de un edificio. En otras palabras, la compatibilidad estructural con nuevos materiales apunta a solucionar problemas que la edificación original no ha resuelto sin cambiar su espacialidad y funcionalidad original.

Debido al vacío de conocimientos y a la normativa existente, en general no se ha puesto atención a las posibilidades que entregan las nuevas tecnologías al servicio de la construcción tradicional.

2.2.2 Apariencia estética

Otra de las dificultades que presenta la restauración patrimonial es el aspecto de los acabados.

Esto no solo se aplica a la restauración de una parte de un edificio, también se aplica a la reconstrucción de una obra entera, por ejemplo en los casos de zonas típicas o cuando se trata de edificios adosados, como los de fachada continua.

La normativa vigente no permite construir o reconstruir con barro por lo que se hace muy difícil lograr una apariencia homogénea en las edificaciones afectadas, lo cual obliga a hacer grandes esfuerzos estructurales muchas veces innecesarios para dar toda la responsabilidad portante a elementos que no son originales o tradicionales. Un ejemplo de lo anterior es que vemos con cierta frecuencia que se sobre-estructura con madera, de tal manera que la madera es la que se lleva la carga mientras que el barro pasa a ser sólo un revestimiento o un relleno.

Por ello es que el estudio de las nuevas tecnologías y materiales en conjunto con los sistemas tradicionales es esencial para apoyar las iniciativas de restauración patrimonial.

2.3 Difusión de técnicas de conservación

La infraestructura patrimonial de varias regiones de Chile se vio afectada por el terremoto del 27 de febrero de 2010, inhabilitando su uso. El Manual viene a apoyar la gestión del Estado hacia una reconstrucción estandarizada de infraestructura patrimonial.

Existen muchas iniciativas dispersas que proponen materialidades y sistemas constructivos orientados a restaurar, rehabilitar y/o recuperar el patrimonio, algunas incluso, a juicio de la opinión pública, se encuentran en retirada como por ejemplo, aquellos a base de adobe.

Por esta razón, es de interés nacional:

- a) Generar condiciones habilitantes que promuevan la rehabilitación y reconstrucción del patrimonio, procurando mantener su estética, con materialidades y sistemas constructivos técnicamente validados.
- b) Estandarizar metodologías y especificaciones técnicas, de modo de minimizar los riesgos de colapso ante nuevos sismos.

Los productos resultados de este proyecto fueron:

- Manual Técnico que recoge 5 temáticas relevantes para una reconstrucción orientada al rescate del patrimonio:
 1. Definición y caracterización de materiales.

2. Disposiciones generales que definen y caracterizan los sistemas constructivos más idóneos para la recuperación de la infraestructura de interés patrimonial de las regiones afectadas.
 3. Identificación correcta del sistema constructivo y evaluación de daños.
 4. Descripción de los daños identificados.
 5. Soluciones tipo a los daños detectados.
- Formulario de Evaluación de Daños. Documento que permite identificar los daños y sus causas.
 - Metodología para la evaluación ex-ante del riesgo sísmico de infraestructura de interés patrimonial.

La elaboración del documento “Evaluación de daños y soluciones para construcciones en tierra cruda: Manual de Terreno” establece un marco de acción con criterios constructivos, validados técnicamente, que permite a los municipios recuperar y mantener el patrimonio arquitectónico de las edificaciones con más de 80 años de antigüedad de las zonas afectadas, asegurando así, la preservación del mismo y el aumento de las condiciones de confort y seguridad.

3. METODOLOGÍA

El proyecto se desarrolló mediante una serie de actividades dentro de tres etapas ejecutadas en un periodo de un año y medio:

3.1. Etapa 1: Convocatoria de mesa de expertos

La primera actividad realizada fue la recopilación de información bibliográfica sobre la materia, tanto a nivel nacional como internacional. El resultado de esta investigación fue una base de datos de la documentación existente, instituciones que investigan y desarrollan temas relacionados, y profesionales con experiencia en construcción y/o investigación en construcción a base de tierra, lo que permitió reconocer a una serie de profesionales de distintas áreas de la construcción quienes tienen conocimientos acreditados en la materia, identificando a los principales actores a nivel mundial, tanto en la construcción como en la implementación de metodologías de reparación patrimonial, particularmente en sistemas constructivos a base de tierra.

De esta base se seleccionó a un pequeño grupo de expertos que debía abarcar experiencia en al menos una de tres áreas: arquitectura, ingeniería o construcción, considerando criterios como experiencia demostrable en el tema; especialización; disposición al trabajo en equipo durante el tiempo convenido en Chile; y real interés vocacional por aportar en esta materia a la sociedad.

Posteriormente se realizaron entrevistas, análisis curriculares y bibliográficos, solicitud de referencias a instituciones entre otros, de modo de seleccionar a un grupo idóneo para el desarrollo del proyecto.

Este trabajo llevó a acotar una mesa de expertos compuesta por cuatro personas, lideradas por Juan Enrique González Gain, Doctor (c) arquitecto, que destacaron por su experiencia, conocimientos, profesionalidad y además por abarcar el amplio espectro de la construcción (arquitectura, ingeniería estructural y construcción)⁽⁵⁾.

3.2. Etapa 2: desarrollo del Manual

3.2.1. Recopilación de información publicada

Fue el periodo en el cual se convocó al grupo de expertos, quienes estudiaron el estado del arte de los sistemas constructivos a base de tierra (adobe, técnica mixta tierra-madera, tapial, y mampostería de piedra sentada en barro).

La primera actividad fue revisar y contrastar la información recopilada desde las distintas fuentes (la escasa bibliografía nacional existente; bibliografía internacional; selección de contenido publicado en la web por instituciones, centro de investigación, entidades gubernamentales y expertos internacionales).

Entre los expertos internacionales cabe destacar el trabajo realizado por autores como Gernot Minke (2005) en el ámbito del diseño e investigación de arquitectura en tierra, Clara Eugenia Sánchez (2005) con su valioso aporte para comprender la aplicabilidad normativa a este tipo de construcciones, Graciela Viñuales (1981) en su publicación acerca de las patologías que afectan a las construcciones en tierra y el trabajo conjunto realizado por el grupo de expertos del Getty Conservation Institute en relación al comportamiento sísmico de este tipo de estructuras (Tolles et al, 2002).

Por otra parte, la información extraída de instituciones como la Universidad Católica de Perú, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, las normas de Nuevo México y nueva Zelandia, por nombrar algunas fuentes, aportaron con temas relevantes para enfocar la investigación y posterior desarrollo del Manual de Terreno con miras a la aplicación real en Chile.

El grupo de expertos que participó en la realización del documento tratado, categorizó con precisión las tipologías constructivas tradicionales, y propuso criterios de buenas prácticas para la fabricación de materiales y reparación de inmuebles, identificando propiedades y atributos de cada uno.

Además se estudiaron modos de combinar los sistemas tradicionales con soluciones en madera, acero, hormigón u otros materiales de innovación tecnológica como la geomalla y la fibra de basalto.

3.2.2. Investigación y ensayo de materiales

Habiendo obtenido esta información se hacía necesario llevar estos temas a la realidad nacional.

La cuantiosa información recopilada entre la investigación bibliográfica y los aportes de los expertos dejaron expuestos un problema: ¿cuánta certeza tenemos de que la información recopilada es adecuada y cumple con las distintas normas?

La respuesta a esta interrogante permanece aún hoy lejos de satisfacer la inquietud, sin embargo como el equipo de trabajo se planteó el desafío de validar técnicamente la mayor cantidad de técnicas y materiales posibles.

Con el fin de establecer criterios de reparación adecuados, algunos de los sistemas constructivos fueron estudiados mediante ensayos y proyectos pilotos. En otros casos se consideró información validada de experiencias internacionales, estudiando los resultados verificando su aplicabilidad a la realidad chilena. Es allí donde el estudio de ingeniería y soluciones modernas sobre las técnicas tradicionales cumplen un rol fundamental que finalmente lleva a desarrollar una metodología de recuperación del patrimonio que integra técnicas tradicionales con nuevas tecnologías.

El proceso de validación de las soluciones expuestas en el documento sigue hoy su propio curso a partir de varias premisas planteadas en esta etapa del proyecto, sin embargo se logró verificar varios elementos y técnicas, en base a documentación científica sobre ellas, normas aplicadas en otros países y ensayos ya realizados.

Algunos de estos ensayos de campo, los que fueran más simples de realizar en terreno por los usuarios del Manual, fueron reproducidos en diez cápsulas de video. También se grabó material audiovisual con algunos ejemplos sobre cómo preparar el barro, los que se encuentran disponibles en la web para ver y/o descargar⁽⁶⁾.

Estos ensayos son fácilmente reproducibles siguiendo unas simples instrucciones, lo que permite a cualquiera poder verificar la calidad del suelo y las mezclas más adecuadas para la fabricación de adobe y masa plástica usada en la fabricación de tapial, mortero y otros

rellenos de barro.

3.2.3. Redacción del Manual

Una vez seleccionado el material se dio paso a la realización de la estructura de contenidos que contemplaría el Manual. Se distribuyeron tareas de redacción de capítulos en relación a la especialidad de cada experto. Una vez recibidos estos textos redactados por cada experto, se distribuyeron entre todo el equipo que revisó y complementó cada una de las partes. Un equipo editor se dio al trabajo de unificar criterios y redactar la versión final que fue pensada en fichas prácticas.

El enfoque dado a este Manual permite que cualquiera pueda aproximarse a la problemática de la restauración del patrimonio en tierra dañado, y contribuye a mejorar las buenas prácticas de conservación, mantención y preservación de este tipo de construcciones.

El manual consta de 46 fichas de daño asociadas a un código indicado con la letra “D”, seguido del tipo de daño; y 52 fichas de soluciones asociadas a un código indicado con la letra “S”, seguido del tipo de solución.

Tanto la evaluación de daños, como la aplicación de las soluciones sugeridas deben ser supervisadas por un profesional competente.

El documento se divide en tres partes:

La primera consiste en un Formulario de evaluación del estado general del inmueble, que permite identificar fácilmente los distintos sistemas constructivos que abarca el Manual, dando las pautas para una adecuada evaluación de daños y una correcta identificación del sistema constructivo. Este formulario permite además, llevar un registro detallado de la edificación evaluada de modo de verificar en el tiempo cualquier alteración en su estructura original.

La segunda parte consiste en una serie de fichas dedicadas a la Evaluación de daños. Estas abarcan siete afectaciones generales y sus distintas manifestaciones particulares asociadas. Esta sección ayuda a entender las causas de los daños y sus posibles efectos en el mediano y largo plazo.

Cada ficha cuenta con una calificación del grado con que el daño puede afectar a la edificación. Así, en el recuadro “Compromiso del daño” es posible encontrar los siguientes términos: Leve, Moderado, Grave y Severo.

La tercera parte la compone un set de fichas de Soluciones vinculadas a los daños antes descritos. Estas soluciones entregan instrucciones paso a paso, y son una recopilación de buenas prácticas y experiencias recogidas por un grupo de expertos. Todas las soluciones propuestas en este Manual están orientadas a la reconstrucción y restauración de edificaciones existentes, lo que no descarta que puedan ser utilizadas como referentes para la elaboración de nuevas obras. Las soluciones presentadas son genéricas —cada caso presenta su propia dificultad dependiendo del espesor de muros, la calidad de las fundaciones, las cargas estáticas, las condiciones del terreno, etc.—, por lo que se debe consultar siempre a un especialista en construcción ante dudas estructurales.

Para facilitar el uso de este Manual se dispuso una gráfica explicativa de las fichas, que aclara los códigos de lectura.

Por último, y para contribuir a su adecuada comprensión, incorpora un Glosario de los términos usados en esta publicación, el que se complementa con otro realizado por la Red Iberoamericana de Construcción en Tierra Cruda, Red Proterra⁽⁷⁾.

Una serie de fichas sintetizan la información desarrollada y recopilada. Estas se vinculan unas a otras con el fin de entregar al usuario un panorama general del estado del inmueble evaluado, y las distintas posibilidades de reparación.

3.3. Etapa 3: transferencia y difusión a los usuarios

Corresponde al periodo durante el cual ejecutaron acciones conducentes a traspasar los

productos resultantes del proyecto a la comunidad.

Se lanzó el Manual en una convocatoria que incluyó a autoridades de gobierno; personalidades del mundo académico, profesionales ligados a la construcción, alumnos de carreras relacionados y público interesado,

Se organizaron cinco seminarios en Universidades en los que se expuso la existencia y utilidad del Manual.

Se realizaron capacitaciones a profesionales que ejercen cargos en entidades públicas como Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo; Direcciones de Obras Municipales y otros,

Se imprimieron mil ejemplares y mil *pendrives* con el Manual en formato digital más el registro en video de los ensayos para distribuir a Direcciones de Obras Municipales, Universidades, Bibliotecas y otro tipo organismos vinculados a la preservación del patrimonio.

Para su difusión masiva y gratuita se digitalizó el Manual completo y se puso disposición de los usuarios de Chile y el mundo a través de la web en dos plataformas: sitio web de la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción (CDT) www.cdt.cl; sitio web del Estudio de Arquitectura JEGG, www.jegg.cl

El trabajo se publicitó además en la revista de la Revista BIT de la CDT y en el sitio web Plataforma Arquitectura. La tarea de difusión es continua y los esfuerzos por dar a conocer este importante material se proyectan en el tiempo.

4. CONCLUSIONES

Conservar, mantener y alterar adecuadamente las edificaciones a base de tierra, contribuye a prevenir significativamente la pérdida de vidas humanas ya que una mala intervención o un inadecuado proceso de mantenimiento es lo que convierten a estas edificaciones vernaculares en trampas mortales cuando sufren los efectos negativos, no sólo de sismos sino también de los efectos de la humedad o agentes bióticos. Un ejemplo dramático de ello fue la consecuencia de la inadecuada alteración de la estructura en gran cantidad de viviendas previo al terremoto de Chillán del 24 de enero de 1939, donde fallecieron entre 20.000 y 30.000 personas aplastadas por muros de adobe⁽⁸⁾.

El Manual entrega una guía de evaluación del estado de un inmueble, reconocimiento de daños (señalando adecuadamente la patología y sus causas) y una serie de posibles soluciones genéricas. En resumen es un manual de buenas prácticas de reparación.

El documento, resultado de la investigación de más de dos años, generó un aporte en cuanto a técnicas de conservación y restauración de estructuras de tierra, sentando un precedente real y concreto para apoyar iniciativas como el proyecto de norma NCh 3332 c 2012 "Estructuras-intervención de construcciones patrimoniales de tierra - requisitos del proyecto estructural," actualmente en estudio en el INN⁽⁹⁾.

La versión impresa del manual y su distribución gratuita entre todos los organismos públicos vinculados a la reconstrucción, así como a escuelas de arquitectura, construcción e ingeniería del país han permitido un traspaso real y tangible de los conocimientos recogidos hacia el sector público y hacia profesionales de la construcción.

Este documento contribuye directamente a la preservación de la memoria histórica nacional. Es un consenso entre los especialistas, que la arquitectura en tierra constituye quizás el único patrimonio arquitectónico verdaderamente nacional ya que su origen y desarrollo surgen de la construcción del hábitat por las manos embarradas del campesinado chileno, cuando aún no existían profesionales de la construcción en nuestro país. Así, a través de un lento proceso de ensayo y error, éste valioso legado se fue edificando, corrigiendo y mejorando entre cada evento sísmico hasta lo que es hoy.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Corporación de Desarrollo Tecnológico - CDT (2012). *Evaluación de daños y soluciones para construcciones en tierra cruda. Manual de terreno*. Documento técnico n° 32. Santiago de Chile: CDT. Disponible en: <http://www.cdt.cl>; <http://jegg.cl/publicaciones.htm>

Guzmán, E. (1977). *Curso de edificación, Capítulo IV*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.

Instituto Nacional de Normalización – INN (1966). Norma chilena oficial NCh 433.Of96: 1996 Diseño sísmico de edificios. Santiago: INN

Minke, Gernot (2001-2002). *Arquitectura Ecológica - Construcciones bioclimáticas en adobe. Revista Arquitectura Andina*, 2001 – 2002, vol. 49.-14.

Minke, Gernot (2005). *Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra*. 3ª ed. Kassel: Forschungslabor für Experimentelles Bauen

Pumpelly, Raphael (1908). *Explorations in Turkestan*. Washington, D. C., Carnegie Institution of Washington.

Sanchez, Clara Eugenia (2005). *Arquitectura de la vivienda vernácula colombiana en adobe y su relación con la norma sismo resistente* [en línea]. Bogotá, Hábitat Tierra. Disponible en: <http://www.habitattierra.com/spip.php?article23>.

Tolles, E. Leroy; Kimbro, Edna E.; Ginell, William S. (2002). *Guías de planeamiento e ingeniería para la estabilización sismorresistente de estructuras históricas de adobe*. California, Getty Publications.

Viñuales, Graciela M. (1981). *Restauración de arquitecturas de tierra*. San Miguel de Tucumán: Instituto Argentino de Investigaciones de Historia de la Arquitectura y el Urbanismo

NOTAS

⁽¹⁾ CORFO (Corporación de Fomento de la Producción) es un organismo ejecutor de las políticas gubernamentales en el ámbito del emprendimiento y la innovación, a través de herramientas e instrumentos compatibles con los lineamientos centrales de una economía social de mercado, creando las condiciones para lograr construir una sociedad de oportunidades. Fue creada durante los gobiernos radicales de mediados del S.XX y ha sido un actor importante en el desarrollo nacional. (Fuente: <http://www.corfo.cl>).

⁽²⁾ <http://www.cdt.cl/cdt/uploads/Manual%20Tierra%20Cruda.pdf>; <http://jegg.cl/publicaciones.htm>

⁽³⁾ Es muy difícil llegar a una cifra más acotada de la cantidad de construcciones en base a tierra. Para Gernot Minke se trata de un tercio de la población mundial y en algunos países llega hasta la mitad. En organizaciones como CRATERRE no se dan cifras exactas, sin embargo existen muchos documentos de diversos autores que se aventuran a dar cifras de sectores acotados (África, algunas zonas de Asia, etc.) donde las cifras varían entre un 40% y 60%. El amplio espectro también se debe a que en el registro de construcciones a base de tierra se incluyen las no habitacionales, bodegas, muros divisorios, etc., y también las que son excavadas en la tierra como en la Capadocia, algunas zonas del centro de China, etc.

⁽⁴⁾ El profesor Hugo Pereira Gigogne enseñó construcción en tierra en la Universidad Central de Chile en Pregrado y en la Universidad de Chile y la Pontificia Universidad Católica de Chile en post título. En la década de 1980 el Profesor Gastón Barrios Lamarque ejerció importante docencia e investigación en el área en la Escuela de construcción civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile, recibiendo por éste motivo importante reconocimiento internacional.

⁽⁵⁾ El equipo profesional fue compuesto por:

- Patricio Arias Cortés, Arquitecto especializado en tierra y docente de DuocUC.
- Luis Leiva Aravena, Ingeniero estructural, docente de la Universidad de Santiago y experto en restauración patrimonial.

- Hugo Enrique Pereira Gigogne, Arquitecto experto en diseño y construcción en tierra, Analista de SERVIU –RM, ex - Presidente del Comité de Tecnología del Colegio de Arquitectos de Chile.
- Francisco Javier Prado García, Constructor civil, magíster en restauración y rehabilitación de patrimonio, jefe programa de Magíster en Construcción Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Álvaro Riquelme Bravo, Arquitecto especialista en restauración arquitectónica y maderas y docente de DuocUC, quien se incorporó al equipo en la fase final del proyecto.

⁽⁶⁾ Los ensayos y ejemplos de fabricación en video son: Goteo, Caída de bola, Lavado de manos, Resistencia en seco, Retracción de secado, Preparación de adobes, Moldeo de adobe, Ensayo de plasticidad modificado, Resistencia de adobes y Revoque de barro. Disponibles en <http://jegg.cl/publicaciones.htm>.

⁽⁷⁾ http://redproterra.org/index.php?option=com_glossary&Itemid=18

⁽⁸⁾ Este magno sismo tuvo una magnitud de momento de 8.3 M. La causa basal de estas destrucciones fue la alteración del sistema estructural con el objetivo de “afrancesar” las antiguas casonas, suprimiendo los corredores, eliminando así la triangulación del sistema estructural de la techumbre. Como consecuencia de ello, se desvincularon muros y cubierta (Guzmán, 1977).

⁽⁹⁾ Instituto Nacional de Normalización, organismo nacional oficial encargado de la generación de normas nacionales

Currículos

Juan Enrique González Gain, Arquitecto, Máster en Proyectos y Máster en Arquitectura Internacional, Doctor (c) en Proyectos Arquitectónicos de la Universidad Politécnica de Cataluña. Ha trabajado y colaborado en estudios de arquitectura en Chile, España, Argentina y Portugal, participando en proyectos urbanos y rurales, desde viviendas unifamiliares hasta planificación territorial.

Hugo Enrique Pereira Gigogne, Arquitecto, miembro de ICOMOS y Red Iberoamericana PROTERRA. Especialista de curso de post título en el área de la restauración patrimonial de la Universidad de Chile, docente Universidad Tecnológica Metropolitana, analista SERVIU RM-MINVU, Premio “Fermín Vivaceta” 2000 ,Colegio de Arquitectos de Chile.