

ANÁLISIS DE SISMORRESISTENCIA DE LAS VIVIENDAS DE TIERRA DE DOS PISOS EN LAS MOLLACAS, CHILE

Elizabeth Lara¹, Natalia Jorquera²

Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Chile

¹Elizabeth.lara.a@ug.uchile.cl, ² nataliajorquera@uchile.cl

Palabras clave: patrimonio en tierra, sistema constructivo-estructural, tecnología sísmica del patrimonio, Valle del Limarí

Resumen

La presente investigación estudia las viviendas aisladas de dos pisos con balcón, que a pesar de que difieren de las tipologías y agrupamientos tradicionales de la construcción en tierra del Norte Chico, debiendo ser más vulnerables sísmicamente, llegan a nuestros días, convirtiéndose en prodigios de la arquitectura en tierra. Sin embargo, el tiempo y el descuido, las pone en constante riesgo de pérdida. Estas viviendas resultan interesantes desde la perspectiva tecnológica, pues surge la pregunta de cómo han sobrevivido al paso del tiempo y la acción sísmica chilena. Se apuesta a que sus diferentes sistemas constructivos permiten un desempeño sísmico idóneo, por lo que, el foco de la investigación fue realizar una caracterización tecnológica y detallada in situ para identificar los diversos sistemas constructivo-estructurales y establecer si inciden en el desempeño sísmico. Se concluye la existencia de tres tipologías, dentro de las cuales surge un caso particular que presenta un dispositivo sismorresistente que coopera con el comportamiento de caja de la vivienda al momento de un sismo. Por otro lado, el análisis de desempeño sísmico y el estado de conservación demuestran que las viviendas no presentan cualidades destacables que demuestren su permanencia, lo que genera más incógnitas sobre su durabilidad.

1 INTRODUCCIÓN

En Las Mollacas, Región de Coquimbo, existen una serie de viviendas históricas con valor patrimonial construidas en tierra de dos pisos aislados que, por su configuración y dimensiones, representan un interesante caso de análisis en la rama de la tecnología debido a que surge la incertidumbre sobre cómo han llegado a nuestros días, a pesar de estar en un país sísmico. Estas viviendas son un vestigio de la arquitectura en tierra que está desapareciendo debido a su descuido, por lo que, realizar una caracterización tecnológica de la vivienda permite comprender su funcionamiento y disminuir el riesgo de pérdida que tienen actualmente, contribuyendo a su conocimiento en base a su desempeño sísmico y estado de conservación.

En la macrozona del Norte Chico, ubicación de Las Mollacas, donde por lo general la construcción en tierra, es “una arquitectura austera...donde...proliferan principalmente las viviendas agrupadas continuamente conformando manzanas...” (Jorquera, 2013, p.23). En ese contexto, las viviendas de Las Mollacas resultan atípicas debido a su configuración aislada, además de la incorporación de un segundo piso con balcón, situación que las hace interesantes y singulares arquitectónicamente, pero al mismo tiempo más vulnerables frente a esfuerzos sísmicos, debido al estrés que sufren los edificios con volúmenes sobresalientes, ya que “en función de la intersección de los muros y de la presencia de coacciones laterales adicionales los mecanismos fuera del plano pueden afectar a partes más pequeñas o más grandes de los muros” (Lourenço et al, 2019, p.21).

Por otro lado, la falta de reconocimiento tecnológico, histórico y arquitectónico de las viviendas de Las Mollacas incide en la falta de mantenimiento de los inmuebles, lo que, a su vez, los hace más vulnerables frente a los sismos. Así, las diferentes técnicas de tierra que constituyen los inmuebles, se ven afectadas sismo tras sismo, puesto que “El daño sísmico es acumulativo

en el tiempo debido a la recurrencia de los terremotos. El agrietamiento degrada paulatinamente la estabilidad y en consecuencia aumenta el riesgo de colapso” (Contreras et al, 2011, p. 49). Por tanto, siendo los daños acumulativos, se debe llevar un constante cuidado de los puntos débiles de la estructura, por lo que, un edificio que esté en abandono o habitado, pero sin el reconocimiento y con ello, sin la atención necesaria, está en un constante riesgo de pérdida.

La singularidad y vulnerabilidad de los casos de estudio hacen importante considerar el estado de conservación para su permanencia en el tiempo. Pérez et al. (2020, p. 163) comentan “la mayoría de estas viviendas se hallan deshabitadas y en un estado de conservación regular o malo”. Sin embargo y paradójicamente, el mal estado de conservación representa la oportunidad para caracterizar desde la perspectiva tecnológica las viviendas de dos pisos, y así reconocer el aporte a la arquitectura en tierra y averiguar cómo estos vestigios han llegado hoy en día.

La investigación contempla como objetivo general, caracterizar desde la perspectiva constructiva y estructural las viviendas de dos pisos en Las Mollacas, para comprender su funcionamiento sismorresistente. Donde la pregunta de investigación que se plantea corresponde a ¿Cuál es la incidencia de los sistemas constructivo-estructurales en la supervivencia en el tiempo de las viviendas de dos pisos en Las Mollacas, en un contexto sísmico?

Planteando como hipótesis que en las viviendas se generaron una serie de soluciones tecnológicas que constituyen un sistema que ha permitido la mejora de las uniones para que frente a un sismo las viviendas funcionen como un todo, logrando la supervivencia de las viviendas.

Para ello se realiza una recopilación de antecedentes, considerando la ubicación de los casos de estudio, donde la sismicidad presente en Las Mollacas, según la NCh 433 (1996, p.4), corresponde a la zona sísmica 3 y una aceleración de suelo de 10% g^1 , en donde se tomaron dos terremotos relevantes: el de Punitaqui de 1997 de 7,1 en escala Richter y 7 de intensidad, junto con el terremoto de Illapel del 2015 de 8,3 Richter y 8 de intensidad (Lara, 2023, Anexo 1).

Posteriormente, se estudian las diferentes técnicas de construcción en tierra, comprendiendo que se realiza un levantamiento y caracterización de los casos de estudio, llegando a la identificación de las diferentes técnicas presentes en el Norte Chico según Jorquera (2014, p.33) “el adobe es la técnica predominante en las viviendas...mientras la “quincha”...el “ensardinado” y el tabique de madera relleno de adobe son utilizados en muros interiores, recintos menores y en los tímpanos de las viviendas”. Donde el adobe se presenta en dimensiones estandarizadas de 60x30x10 cm (Jorquera, 2022, p.66).

Del mismo modo, fue necesario comprender el desempeño sísmico de las diferentes técnicas de construcción, al igual que comprender el comportamiento de caja que si se presenta “el edificio se comporta como un ensamblaje conjunto de muros y cubiertas, con principalmente la respuesta en el plano de las paredes” (Marques, 2014, p.1)

2 ESTRATEGIA METODOLÓGICA

Esta investigación tiene una naturaleza mixta, donde se encuentra presente en primera instancia una investigación descriptiva, debido a la recolección y levantamiento de información mediante la visita a terreno y el catastro, identificación y caracterización del sistema constructivo y estructural de los casos de estudio en Las Mollacas. En esta parte de la

¹ Obtenido en <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>

investigación se utilizarán fuentes de información como el trabajo previo realizado en el proyecto “Patrimonios singulares de tierra en la Región de Coquimbo”²

Para posteriormente pasar a una investigación analítica, para la comprensión de cómo las viviendas han logrado responder sísmicamente durante estos años. Para esto se analizará el desempeño sísmico y eficiencia estructural de manera cualitativa mediante una matriz, en la que se especificaran diferentes ámbitos en base a fuentes que hablen de las fallas constructivas y estructurales en edificaciones históricas construido en tierra. Para que, al realizar el análisis de las viviendas con la matriz elaborada, se identifiquen elementos existentes en la vivienda que podrían contribuir a una mejor respuesta sísmica. Para obtener como resultados una evaluación de las viviendas y la identificación de elementos constructivos/estructurales que contribuyen al desempeño sísmico en las viviendas de dos pisos con balcón en Las Mollacas.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

Los objetivos propuestos se lograron siguiendo tres etapas.

3.1 Primera etapa: Caracterización de los casos de estudio

Paso 1: Previamente a la visita a terreno, se realizó un levantamiento esquemático de las viviendas con apoyo de imágenes tomadas anteriormente, obteniendo como material dos tipos de planimetrías por cada caso de estudio: uno para levantamiento de las dimensiones y sistemas constructivo-estructurales y el otro para documentar el estado de conservación.

Paso 2: Durante la visita a terreno se documentaron las medidas de los elementos constructivo-estructurales y los daños visibles en las viviendas. Además, se realizó un levantamiento fotográfico que evidenció los elementos constructivo-estructurales, los detalles y los daños en los casos de estudio (figura 1).



Figura 1. Casos catastrados en Las Mollacas

Paso 3: Se realizó una entrevista semiestructurada a una habitante de Las Mollacas, siguiendo una pauta con preguntas de interés señaladas a continuación:

- ¿Sabe aproximadamente de cuando están estas viviendas de dos pisos en Las Mollacas?
- ¿Sabe cómo fueron construidas? Señale algún sistema o método que se utilizó.

² Los resultados del proyecto, financiado por el Fondo del Patrimonio Cultural FONPAT Convocatoria 2021, desarrollado entre 2022 y 2023, fueron presentados entre 27 de julio a 19 de agosto de 2023 en el Museo Gabriela Mistral, Vicuña, Coquimbo, Chile

- ¿Hay algún sismo o terremoto que usted recuerde que realizará daños significativos a estas viviendas?

2.1 Segunda etapa: Síntesis y análisis de datos recopilados

Paso 1: Posterior a la visita, se realizaron tablas para sintetizar información de los ocho casos de estudio encontrados.

Se seleccionaron las viviendas 1 a 5, debido al tiempo que se podía estar en terreno y las que estuvieran más cercanas en ubicación, a las que fue posible realizar un levantamiento exhaustivo de los datos, tomando en consideración su ubicación y posibilidad de estudio. Al ser viviendas de dos pisos, se debían catastrar los diferentes materiales en ambos casos.

Paso 2: Al realizar el levantamiento en terreno de los casos de estudio y sus técnicas constructivas, se levantaron muestras de las maderas de elementos estructurales sin dañar la estructura de la obra en las viviendas 1 a 4, quedando la vivienda 5 sin muestra, debido a la posibilidad de un accidente a causa de como se encontraba la conexión de esta con el terreno.

Paso 3: se realizaron tablas de evaluación de los parámetros sismorresistentes a partir de una matriz extraída de Jorquera et al. (2017, p.525), modificada en algunos ámbitos, tomando como referencia la NCh 3332 (2013) para los datos de esbeltez de muros e incorporando dos nuevos ámbitos del ancho de los vanos en función del espesor de los muros y la distancia de los vanos de borde libre.

Paso 4: Para evaluar el estado de conservación de las diferentes viviendas, enfocado en los daños generados por acción sísmica, se plasmaron en una tabla los daños típicos, y se analizó la frecuencia de ellos. (Lara, 2023, Anexo 5: Tabla 4)

2.2 Tercera etapa: análisis de caso más relevante

Se pasa a realizar una investigación analítica más específica, con una menor cantidad de casos, donde se selecciona la vivienda que presenta un elemento distintivo dentro de su tipología. Seleccionando la vivienda 1, correspondiente a la tipología de vivienda de dos pisos a nivel de calle y con segundo piso completo, debido a que se posee una mayor información y registro fotográfico, además de poseer un dispositivo sismorresistente y un singular registro de técnicas constructivas.

Generando una isométrica explotada, identificando elementos constructivo-estructurales que contribuyen a su desempeño sísmico.

Se selecciona el caso interesante y que ejemplifique los tipos de viviendas que se encuentren en la zona. A este caso se les realiza una isométrica mostrando su sistema constructivo y dispositivo sismorresistente. Si se requiere más información sobre algún detalle de la vivienda 1, se consultará a la vivienda 2 debido a que es con la que comparte tipología.

3 RESULTADOS E DISCUSIONES

En la primera etapa, de la caracterización general de los casos, se identificaron 8 viviendas, clasificadas en tres diferentes tipos en función de su adaptación al terreno; esto debido a la ubicación geográfica en donde se encuentra la localidad de Las Mollacas. Éstas son:

1. Viviendas sobre el nivel de calle y con segundo piso completo. Se encuentran los casos de las viviendas 1, 2 y 7. Según una persona entrevistada en la localidad, la vivienda 7, tenía un segundo piso el cual tuvo que ser demolido, debido al terremoto del 2015 el cual lo dejó con daños (Lara, 2023, Anexo 3)
2. Viviendas sobre el nivel de calle y apoyada en el cerro. En esta categoría se puede dividir en dos, donde se encuentran las viviendas con un segundo piso completo, que sería el caso de la vivienda 4; y otras con un segundo piso más pequeño, como lo es la vivienda

3 y 8, este último caso que al igual que la vivienda 7, fue demolido posterior al terremoto del 2015, según la persona entrevistada.

3. Viviendas aledañas al cerro, donde el segundo piso está a nivel de calle, como los casos 5 y 6; por lo tanto, desde la calle la vivienda parece de un piso.

Se reconoce una tendencia a plantas rectangulares, siendo una forma simple lo cual es ideal en las construcciones en tierra. Con relación a su adaptación al terreno, se presenta que las más favorables son las que se presentan a nivel de calle, y desfavorables las aledañas y apoyada en el cerro, debido al riesgo que representa construir en esos sectores. En cuanto a su uso, todas comenzaron con el programa de vivienda, tal como se mencionaba en textos, sin embargo, actualmente, de los 8 casos, solamente 3 están habitados, donde una de ellas está en mal estado a nivel de envolvente y estructural, sin algunos muros y quemada parcialmente.

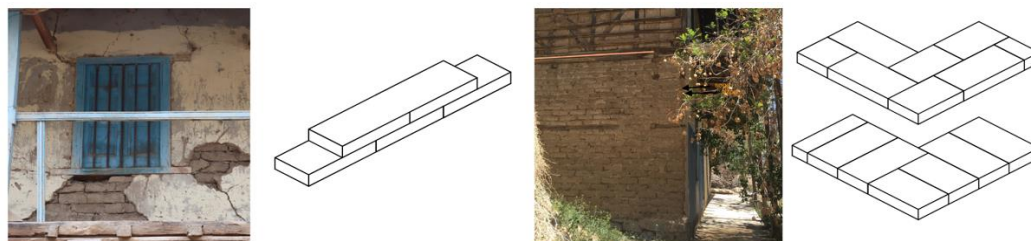
La tabla 1 sintetiza la caracterización arquitectónica de las viviendas en Las Mollacas, elaborada post visita a terreno, donde se presentaron los diferentes casos en la zona, demostrando os tipos presentes, viendo la cantidad de vanos, forma en planta, cubierta y el uso con el cual fue concebido y que posee actualmente.

Tabla 1. Caracterización arquitectónica de viviendas en la zona de Las Mollacas, IV Región

Casos Las Mollacas	Adaptación con el terreno	Planta	Cubierta	Destino	Uso actual	Vanos
Vivienda 1 – Casa amarilla			4 aguas	Vivienda	En desuso	5P, 1V
Vivienda 2 – Casa roja			2 aguas	Vivienda	En desuso	4P, 2V
Vivienda 3 – Casa blanca			4 aguas	Vivienda	En desuso	5P, 2V
Vivienda 4 – Casa azul			2 aguas	Vivienda	Vivienda	3P, 1V
Vivienda 5 – Casa pálida			4 aguas	Vivienda	En desuso	2P, 1V
Vivienda 6 – Casa abajo			2 aguas	Vivienda	Vivienda	2P, 0V
Vivienda 7 – Casa antigua 1			Sin información ¹	Vivienda	Vivienda	3P, 1V
Vivienda 8 – Casa antigua 2			Sin información ¹	Vivienda	En desuso	2P, 0V

¹ corresponde a viviendas en desuso y deshabitadas, sin manera de ingresar y poder ver las fachadas que quedaban al interior del terreno, del mismo modo, con el interior de las viviendas

Las técnicas constructivas en las 5 viviendas seleccionadas, en donde los primeros pisos de las viviendas 1, 2 y 5 coinciden en tener muros de adobe de 30 cm, mientras que las viviendas de la tipología apoyada en cerro son de 60 cm. Esto puede corresponder a que los emplazamientos más desventajosos son los apoyados en el cerro, por lo que el espesor del muro lo aumentan, siendo de esta forma estructuras más macizas. Por otro lado, el aparejo que se puede observar en las obras corresponde a hiladas de sogá en los casos de las viviendas de 30 cm de espesor y en los de 60 cm, unas hiladas compuestas por dos adobes en sogá y una en tizón, graficados en la figura 2.



Hiladas compuestas por adobes en sogas – vivienda 1 Hiladas compuestas por dos adobes a sogas y una en tizón – vivienda 4

Figura 2. Aparejos presentados en muros de 30 cm y 60 cm

Tabla 2. Identificación de técnicas constructivas de las viviendas

Caso	Técnica constructiva muros								Espesor muros 1er piso
	Fachada norte		Fachada sur		Fachada oeste		Fachada este		
	1er piso	2do piso	1er piso	2do piso	1er piso	2do piso	1er piso	2do piso	
Vivienda 1 – Casa amarilla	adobe*	adobe	adobe	adobe	adobe	T.M 2	adobe	T.M 2	30
Vivienda 2 – Casa roja	adobe*	s/i	adobe	T.M 2	adobe	T.M 2	adobe	T.M 2	30
Vivienda 3 – Casa blanca	adobe	T.M 2	adobe*	s/i	adobe	T.M 2	adobe	T.M 2	60
Vivienda 4 – Casa azul	adobe	T.M 1	adobe*	s/i	adobe	T.M 1 + adobe	adobe	T.M 1 y 2 + adobe	60
Vivienda 5 – Casa pálida	adobe*	s/i	adobe	T.M 1	adobe	s/muro	adobe	T.M 1	30

Nota: T.M 1 corresponde a quinchas y T.M 2 a adobe en pandereta; s/i corresponde a los casos donde no se podía ingresar a las viviendas

Si bien no se pudo ingresar a las viviendas, de la observación de su envolvente se infiere que los cuatro muros perimetrales del primer piso están contruidos con albañilería de adobe, por lo que en tabla se incorporó el material con asterisco, representando en donde se completó con esta medida.

Mientras que en los segundos pisos se muestran una amplia gama de técnicas, en donde no concuerdan en todos los muros, donde se obtiene frecuentemente técnicas mixtas (T.M), en donde el adobe en pandereta es la que más se presenta, siendo colocado de manera vertical, lo que es aún más desventajoso debido a que en esta técnica los bloques quedan difícilmente unidos a la estructura de madera, lo que junto a la no incorporación de un mortero de pega que los una, la verticalidad de los elementos (60 cm) genera un mayor riesgo de volcamiento en caso de un sismo. Por otro lado, un caso particular es en la vivienda 1, donde se presenta adobe en la fachada norte y sur, que debido al peso que presenta esta técnica constructiva en un segundo nivel genera interés de estudio. Se puede observar lo anterior en elevaciones de los ejes estructurales (figura 3).

Y finalmente, la incorporación de dispositivos sismorresistentes presentes en los casos de estudio, que a pesar de lo complejo que podía ser la localización de éstos desde el exterior, se pudieron reconocer en dos viviendas dispositivos sismorresistentes que pueden mejorar las uniones en los casos. Esto ocurre en la vivienda 1 en donde se ve un tirante que se pasa por la madera que cruza por la fachada oeste y une en una esquina con la madera de la fachada sur, reforzando la unión de ambos muros y con ello evitar el desacople entre ambos. Y el otro caso, es en la vivienda 5 (figura 4), donde se presenta un tensor metálico, el cual vincula las técnicas del primer piso con el segundo piso, generando una unión entre ambos y su funcionamiento en conjunto.

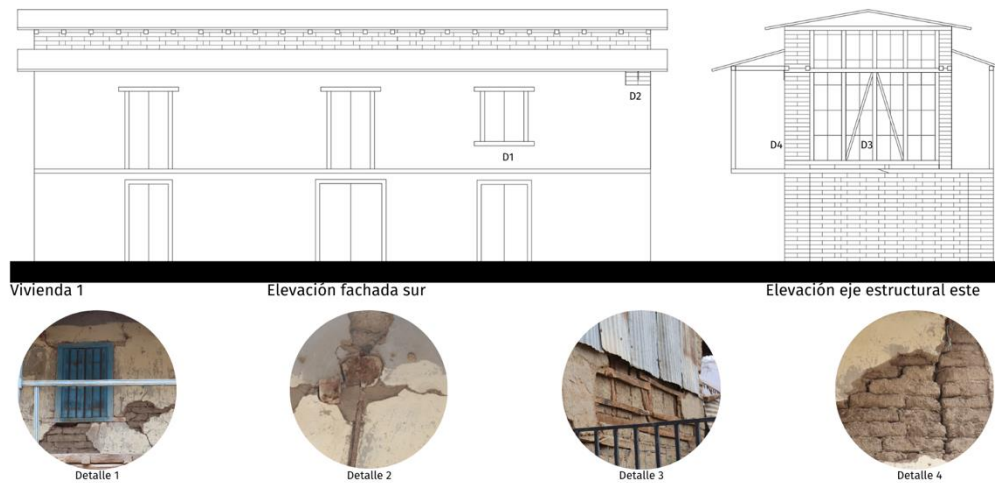


Figura 3. Elevación fachada sur y eje estructural vivienda 1



Figura 4. Registro fotográfico de elementos sismorresistentes

En cuanto al análisis de las maderas extraídas de elementos estructurales, en base a las muestras, se aprecia dos categorías: el álamo (*Populus alba*), una madera blanda, que se presenta en las viviendas 1, 3 y 4; y el alerce (*Larix decidua*), presente en la vivienda 2, una madera semidura. Sin embargo, las maderas presentes en las viviendas se encuentran en mal estado debido a diversas manifestaciones patológicas presentes en ellas, teniendo como se aprecia en la muestra de la vivienda 1, que fue atacada por insectos xilófagos (coleópteros y termitas), que, en el caso del álamo, al ser de una madera blanda, es atractiva para estos insectos (figura 5). Lo que hace cuestionar la durabilidad de las viviendas debido a que, si las maderas presentan el ataque de estos insectos, se debilitan y pierdan la sección necesaria para soportar la edificación misma y las sollicitaciones sísmicas. Dicha situación se puede visualizarse en varias maderas estructurales, tales como, en los elementos insertos en muros de adobe, en las técnicas mixtas y en los balcones (figura 6).



Figura 5 Aspecto de las maderas en las viviendas



Figura 6. Collage del estado de maderas

La tabla 3 presenta los parámetros sismorresistentes establecidos en la NCh 3332 (2013) y los valores determinados en las viviendas estudiadas.

Tabla 3: Evaluación de los parámetros sismorresistentes (adaptado Jorquera et al., 2017, p.525)

Parámetros	Referencia	Vivienda 1	Vivienda 2	Vivienda 3	Vivienda 4	Vivienda 5
Tipología		Tipología 1	Tipología 1	Tipología 2	Tipología 2	Tipología 3
Simetría del edificio		SI	SI	SI	SI	SI
Relación largo/ancho del edificio en planta	≤ 2	2,954	2,365	1,106	1,540	1,875
Relación alto/ancho del edificio en fachada	≤ 4	2,42	2,92	1,08	1,77	1,47
Densidad de la estructura del edificio	alrededor 20%	14,38%	12,78%	34,44%	25,43%	19,50 %
Espesor de las paredes estructurales principales	$> 0,35$ m	30	30	60	60	30
Porcentaje de vanos en muros	$m < 40\%$	28,03%	28,82%	35,54%	32,87%	46,66%
Esbeltez vertical de los muros (longitud/espesor)	≤ 8	7,03	7,20	5,17	5,18	9,00
Longitud libre de la pared	≤ 7	9,50	7,06	5,66	3,00	1,85
Ancho de los vanos en función de espesor de muros	ancho vanos $< 2,5$ *e muro	169 $<$ 75	150 $<$ 75	122 $<$ 150	138 $<$ 150	122 $<$ 75
Distancia vanos de borde libre	dis $>$ 3* e muro	217 $>$ 90	180 $>$ 90	100 $>$ 180	176 $>$ 180	111 $>$ 90

En cuanto en análisis estructural, mediante la medición de los parámetros de desempeño sísmico (tabla 3), se desprende que en función de la relación largo/ancho de las viviendas en planta existe una dispersión de datos, teniendo como extremos la vivienda 1 con 2,954 y la vivienda 3 con 1,106, por lo que, la primera podría presentar fallas por mecanismos fuera de plano y una torsión debido a las diferencias de los muros presentes. Mientras que la vivienda 3, con el índice que presenta, debería tener una buena respuesta frente un sismo.

En relación al alto/ancho del edificio en fachada, todas las viviendas cumplen con el parámetro presentado de ser inferior a 4, siendo la vivienda 2 la más desfavorable entre ellas, al

presentar una proporción de 2,92, lo que se traduce en que, al ser más esbelta, puede presentar fallas por volcamiento durante el sismo; por otro lado, la vivienda 3, al presentar la proporción más baja de 1,08, quiere decir que al ser más horizontal tendrá periodos más cortos y menos aceleración.

Con la densidad estructural, que debería ser en torno al 20%, se presenta que la vivienda 3 posee un 34,44%, por lo que cumpliría con lo establecido teniendo el mejor desempeño. Como señalan Lourenço et al. (2019), para zonas sísmicas lo mínimo es sobre 10%, pero lo ideal sobre 20%, por lo que las viviendas que quedan algo bajas, como la vivienda 2 con 12,78%, siendo la de menor densidad, estarían en riesgo, debido a que no tendría una masa suficiente para resistir los esfuerzos laterales, además de enlazarlo con la aceleración de suelo presente en el lugar, junto a la zona sísmica, es un factor de vulnerabilidad en la vivienda.

Realizando una primera inspección en base a los 3 parámetros anteriores, se puede cruzar los datos, e identificar que la vivienda 1 y 2 son las más desfavorables debido a que presentan una relación largo/ancho de 2,9 y 2,3, respectivamente, con unas relaciones alto/ancho, dentro del parámetro, pero siendo las más altas dentro de los casos de 2,4 y 2,9, y con unas densidades estructurales de 14,38% y 12,78%, donde tomando la aceleración de suelo de 10%g y zona sísmica, son las que presentarían un peor desempeño a los esfuerzos, debido a que no tienen una masa suficiente para soportarlos y podrían presentar una mayor torsión debido a la proporción en planta, además de ser de las viviendas que poseen una relación alto/ancho más altas. En contraste, la que posee una mejor respuesta, sería la vivienda 3, que posee respectivamente, 1,1 en proporción largo/ancho, 1,08 en relación alto/ancho y la mayor densidad de estructura con un 34,44%.

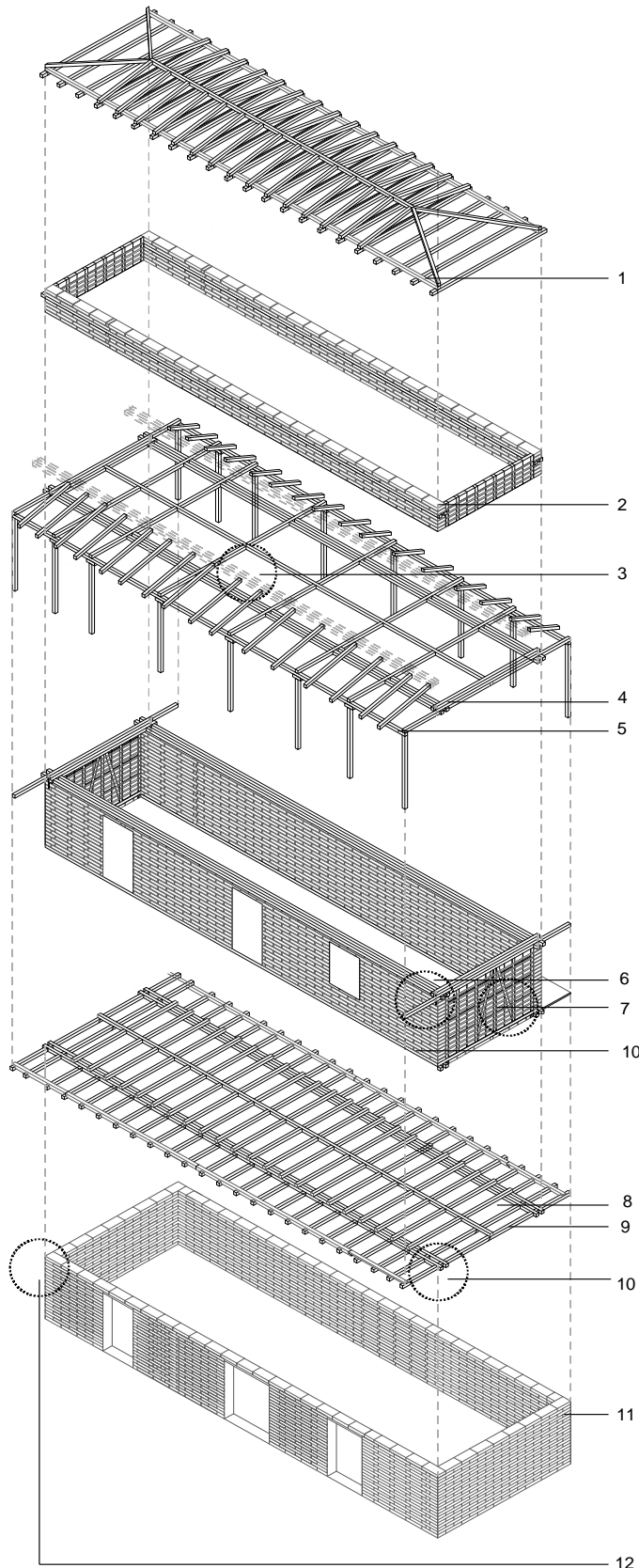
Junto a ello, los vanos en muros de las viviendas están bajo los parámetros, exceptuando a la vivienda 5, que presenta un 46,6% de vanos, lo cual puede ser un factor determinante al momento de un sismo debido a que la mayor cantidad de vanos presentes en el muro, disminuye la rigidez del mismo disminuyendo su capacidad en el plano. Dichos vanos, deberían estar en proporción según los espesores de muros de las viviendas, situación que se cumple en las viviendas que tienen los muros de espesor 60 cm, mientras que las viviendas de los muros de 30 cm, tienen los vanos casi al doble de lo indicado según el parámetro entregado por la NCh 3332 (2013). Sin embargo, en el caso de la distancia de los vanos a un borde libre, sucede lo contrario, presentando las distancias necesarias las viviendas de muros con espesor de 30 cm, mientras que las de 60 cm, quedan bajo lo estipulado por el parámetro.

La esbeltez vertical presente en las viviendas que presenta un parámetro donde el máximo es 8, en base a la NCh 3332, donde las cinco viviendas cumplen con lo establecido, por lo que ayuda a prevenir el volcamiento de los muros durante un sismo, siendo los más favorables las viviendas donde se presentan los muros de 60 cm, mientras que la vivienda 5, se excede obteniendo una proporción de 9, siendo una de las más desfavorables en este caso.

En cuanto al estado de conservación (Lara, 2003, tabla 4 incorporada en Anexo 5), se identificaron diferentes fisuras y agrietamientos típicas en las viviendas de adobe en base a los esfuerzos sísmicos, para evaluar el estado de conservación que presentan actualmente. Siendo la más frecuente de las ocho categorías, daños de menor incidencia, como las grietas en el sentido donde se presentan las maderas en las técnicas constructivas, presentándose en 12 de las 15 fachadas, tanto en las T.M como en el adobe, siendo respuesta a las deformaciones producidas durante el sismo quedando en evidencia las diferencias de rigidez que presentan las técnicas, y los daños por adobes desprendidos de la estructura, frecuentando en 11 de las 15 fachadas.

Por otro lado, resulta preocupante para el estado de conservación y la durabilidad de las viviendas la presencia de la primera categoría (fisura o grieta vertical en esquina de muros) que está presente en 8 de las 15 fachadas, dicha condición es una de las más graves dentro de las fallas consideradas en tabla, debido a que ocurre por solicitaciones dinámicas donde el comportamiento de caja no fue efectivo teniendo un comportamiento independiente cada

muro, quedando la grieta vertical en evidencia y realizando un volcamiento fuera del plano. En función de este tipo de falla, las viviendas más desfavorables que la presentan en todas las fachadas evaluadas son las viviendas 1 y 3.



Detalle 1. Entramado cubierta .



Detalle 2. Dispositivo sismo resistente.



Detalle 3. Técnica mixta adobe en pandereta.



Detalle 4. Unión madera estructural.



Detalle 5. Muros adobe

1. Vigas.
2. Escalera de madera.
3. Detalle 1.
4. Vigas y vigas collar doble.
5. Unión encaje de pilares balcón.
6. Detalle 2.
7. Detalle 3.
8. Vigas.
9. Vigas collar doble.
10. Detalle 4.
11. Muros albañilería adobe 30 cm
12. Detalle 5.

Figura 6. Isométrica explotada de sistemas constructivos

Con ello la vivienda que presenta la mayor cantidad de daños, es la vivienda 3, la cual en los muros de la fachada norte y oeste tiene 6 de las 8 fallas y en la fachada este 4 de las 8. Presentando en todas las fachadas grietas verticales en esquina de muros, grietas en el sentido de las maderas y adobes desprendidos de la estructura. Mientras que, una de las viviendas con menor cantidad de daños presentados por acción sísmica es la vivienda 2, la que presenta en fachada este y oeste 3 de 8 fallas y en la fachada sur 2 de 8, donde ninguna de las fallas presentadas es grave directamente, ya que son de las últimas categorías analizadas, tales como grietas en sentido de las maderas, desprendimiento de adobes y pérdida de entramado vegetales.

Como tercera etapa, la vivienda 1, es una vivienda de interés debido a que posee en el segundo nivel muros de adobe de 30 cm en la fachada norte y sur, en los cuales posee un dispositivo sismorresistente que refuerza la unión (figura 7, detalle 2).

Se realizó un isométrica explotada, mostrando los diferentes componentes que conforman la estructura, mostrando de esta forma el sistema constructivo singular que presenta y con el que se mantiene hasta hoy en día, además de la forma en que se aplica el uso del dispositivo sismo resistente para la unión de los muros.

4 CONSIDERACIONES FINALES

A pesar de no poder acceder a las viviendas, se lograron catalogar 8 viviendas dentro de 3 tipologías identificadas en Las Mollacas, de las cuales se caracterizaron 5 inmuebles en general y una de ellas en detalle (vivienda 1). Se pudo corroborar que todas ellas están conformadas por diversas técnicas de tierra, donde se frecuentaban el adobe en primer piso y el adobe en pandereta en el segundo nivel, colocadas de manera vertical lo que propicia la pérdida del material dado a que está situada a su mayor momento volcante.

Se evaluaron sus desempeños sísmicos, concluyendo que la vivienda 3 es la que presenta el mejor desempeño dentro de las viviendas, presentando una forma más bien compacta tanto en largo como en alto, además de poseer una densidad estructural alta. Sin embargo, analizando el estado de conservación en base a los daños presentados por efectos sísmicos, destaca la vivienda 3, obteniendo la mayor cantidad de daños. Aquello se puede deber a la falta de análisis de la adaptación al terreno de la vivienda y de cómo esta puede afectar al desempeño sísmico de la vivienda, dado que al estar apoyado en el cerro y a nivel de calle puede generar diferentes esfuerzos o movimientos que afecten al comportamiento de caja de la vivienda.

A pesar de los diferentes métodos para encontrar el por qué han llegado hasta hoy, y de una caracterización exhaustiva, no se ha logrado llegar a encontrar un por qué de dicho acontecimiento. Evaluado en diferentes parámetros sísmicos, las viviendas poseen un desempeño no fuera de lo común y en algunos casos, incluso desfavorable, en su análisis de daños sísmicos; del mismo modo, las viviendas presentan diversas fallas, donde muros estructurales se han desvinculado, perdiendo la capacidad de comportamiento de caja. La vivienda 1 no queda fuera debido a que además posee una estructura única dentro de las existentes, pero es la única dentro de su tipología que posee un dispositivo sismorresistente de amarre entre las fachadas norte-sur, en donde existen los muros de adobe.

Se podría concluir que estas viviendas en primera instancia no poseen ningún elemento distintivo que las ayude a perdurar en el tiempo, pero no cabe duda de que el mal estado en el que se encuentran y el abandono favorecen su riesgo de pérdida que aumenta a cada día y con cada sismo. Sería favorable para el desarrollo de la localidad realizar más caracterizaciones arquitectónicas, enfocadas en su sistema constructivo-estructural de las viviendas trabajadas, debido a que actualmente, en el cambio del plan regulador de Monte Patria se plantean algunas edificaciones como Inmuebles de Conservación Histórica, por lo que sería de gran ayuda continuar con un enfoque tecnológico la caracterización y

levantamiento de la información de estos poblados, que tienen una historia que contar y una arquitectura que proteger.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Contreras, S.; Bahamondez, M.; Hurtado, M.; Vergas, J.; Jorquera, N. (2011). La arquitectura en tierra frente al sismo: conclusiones y reflexiones tras el sismo en Chile del 27 de febrero del 2010. Conserva N°16. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/326541092_La_arquitectura_en_tierra_frente_al_sismo_conclusiones_y_reflexiones_tras_el_sismo_en_Chile_del_27_de_Febrero_de_2010
- Jorquera, N. (2013). Culturas sísmicas en tierra. Estrategias locales de respuesta al sismo de la arquitectura en tierra chilena. 13º Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra. Valparaíso, Chile. p.19-30. Disponible en: <https://redproterra.org/wp-content/uploads/2020/07/13-SIACOT-Chile-2013.pdf>
- Jorquera, N. (2014). Culturas constructivas que conforman el patrimonio chileno construido en tierra. Revista AUS 16. 30-35. Disponible en: <http://revistas.uach.cl/pdf/aus/n16/art06.pdf>
- Jorquera, N.; Vargas, J.; Lobos, M.; Cortez, D. (2017). Revealing earthquake-resistant geometrical features in heritage masonry architecture in Santiago, Chile. International Journal of Architectural Heritage. 519-538. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/15583058.2016.1266414>
- Jorquera, N. (2022). Patrimonio chileno construido en tierra. Ediciones ARQ
- Lara, E. (2023). Anexos 1, 2, 3, 4, 5 y 6. Disponible en: https://drive.google.com/drive/folders/1JrNJxqnlNce_utpDn9K9pza2m55kmtGD?usp=sharing
- Lourenço, P.; Ciocci, M.; Greco, F.; Karanikoloudis, G.; Cancino, C.; Torrealva, D.; Wong, K. (2019). Traditional techniques for the rehabilitation and protection of historic earthen structures: The seismic retrofitting project, International Journal of Architectural Heritage, 15-32. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1497232>
- Marques, R. (2014). Masonry Box Behavior. Encyclopedia of Earthquake Engineering. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/284162538_Masonry_Box_Behavior
- NCh433 (1996). Diseño sísmico de edificios. Chile: Instituto Nacional de Normalización
- NCh 3332 (2013). Estructuras - Intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda - Requisitos del proyecto estructural. Chile: Instituto Nacional de Normalización
- Pérez, L.L.; Sanchez, T. R. T.; Gómez, C. M. (2020). Monte Patria, centro patrimonial del Limarí: religión, transporte y vivienda. Fundación ProCultura

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer al Proyecto FONPAT 51523 Patrimonios singulares de tierra en la Región de Coquimbo, por otorgar información de los casos singulares presentes en Las Mollacas y proporcionar imágenes de los casos de estudio. Y agradecer a los residentes de la localidad de Las Mollacas, por su amabilidad durante la visita a terreno, permitiendo el registro fotográfico de las viviendas y de información sobre las mismas.

AUTORES

Elizabeth Lara Araya, estudiante de 5to año de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile, Licenciada en Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.

Natalia Jorquera Silva, Arquitecta Universidad de Chile 2005; colaboradora externa de la consultora chilena Surtierra Arquitectura; candidata a Doctor en la Universidad de Florencia, Italia, donde realiza proyectos de investigación en el ámbito del patrimonio vernáculo y de las culturas constructivas locales.