



**UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CUENCA**
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE ARQUITECTURA

Resiliencia constructiva de los muros en edificaciones de adobe.

Caso de estudio Comunidad de Charqui, Nabón, Azuay

Autor:

Henry Eduardo León
Ordoñez

Director:

Arq. MSc. José Francisco
Pesántez

Codirectora:

Arq. MSc. María del Cisne
Aguirre

Codirector:

Ing. MSc. David Cajamarca

Trabajo de Titulación presentado ante la
Universidad Católica de Cuenca
como requisito parcial para optar al título de:

Arquitecto

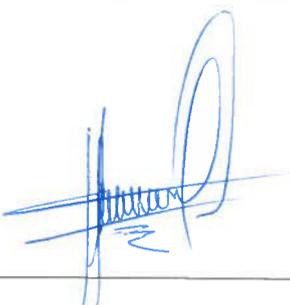
Agosto 2019

Declaración

Yo, **Henry Eduardo León Ordoñez**, con cédula de identidad 0106586035, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. Que el trabajo aquí descrito es de mi autoría y soy responsable de las ideas, doctrinas, resultados y lineamientos alternativos realizados en la presente investigación.
2. Que trabajo es original, siendo resultado de mi trabajo personal, el cual no he copiado de otro trabajo de investigación, ni utilizado ideas, fórmulas, citas completas, ilustraciones, tablas, etc. sacadas de alguna publicación (en versión digital o impresa).
Caso contrario, referencio en forma clara y exacta su origen o autor.
3. Que el trabajo no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.
4. Que el patrimonio intelectual del trabajo investigativo pertenece a la Universidad Católica de Cuenca.

Me hago responsable ante la universidad o terceros, de cualquier irregularidad o daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado y asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, responsabilizándome por todas las cargas pecuniarias o legales que se deriven de ello sometiéndome a la normas establecidas y vigentes de la UCACUE.



Henry Eduardo León Ordoñez

Certificación

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de ARQUITECTO con el título: “*Resiliencia constructiva de los muros en edificaciones de adobe. Caso de estudio Comunidad de Charqui, Nabón, Azuay*” ha sido elaborado por el Sr. **Henry Eduardo León Ordoñez**, mismo que ha sido realizado con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor, por lo que certifico que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.



Arq. MSc. José Francisco Pesántez

Dedicatoria

El presente trabajo investigativo lo dedico a mi madre, Janeth León por haberme dado la vida, por el esfuerzo y sacrificio que ha hecho por verme alcanzar mis metas, y con su ejemplo demostrarme que no existe adversidad que impida lograr lo que se propone, gracias por su apoyo incondicional.

A mis hermanos Vanessa; Mateo y Ana Paula, por estar presentes y permanecer unidos en todo momento, a mis abuelos Olga y en especial a mi querido abuelo Tobías que a pesar que ya no se encuentra físicamente le doy gracias por enseñarme a ser una persona de bien.

A mis amigos por estar siempre presentes en las alegrías y tristezas, por compartir momentos inolvidables tanto en la vida académica como personal gracias por ser partícipes de este logro Andrea G., Dayana P., Mónica C., Samanta P., André O., David V., Jonathan G.

Agradecimientos

Mi agradecimiento infinito a mi madre por el apoyo incondicional y el sacrificio que hizo por verme alcanzar mis metas, este logro se lo debo a Ud mamá.

A mi Director Arq. José Pesántez y co-directora Arq. Maria del Cisne Aguirre, por compartir sus conocimientos y brindarme el apoyo en el desarrollo de esta investigación.

Un agradecimiento especial al Ing. David Cajamarca por ser parte fundamental en el desarrollo de esta investigación, gracias por la confianza, el apoyo incondicional y desinteresado que me brindó.

Resumen

La arquitectura vernácula, especialmente las construcciones de adobe se encuentran vulnerables ante el escenario sísmico que presenta el Ecuador, asociado a la mala práctica constructiva que se da en el sector rural, sin sujetarse a una norma que regule este tipo de construcción, genera lesiones que ponen en riesgo la estabilidad de la vivienda y seguridad de las personas.

El objetivo de la investigación es realizar el análisis técnico constructivo de las viviendas de adobe en la comunidad de Charqui, cantón Nabón, que permita identificar las principales patologías y mecanismos de falla, para generar recomendaciones técnicas constructivas que mejoren la resiliencia y el comportamiento ante un fenómeno sísmico, se realizó el diagnóstico de las edificaciones en base a fichas de estudios referentes, levantamiento planimétrico, registro fotográfico, para evaluar el comportamiento estructural, mediante el software SCAD ++ de simulación sísmica.

Las principales patologías y lesiones estructurales identificadas contribuyen a la generación de un atlas de daños para plantear recomendaciones de soluciones constructivas que mejoren la estabilidad de la vivienda, mediante la utilización de malla electrosoldada simulando un sistema aporticado de vigas y columnas, que garantiza el refuerzo a través de la absorción de los esfuerzos generados por sollicitaciones mecánicas, liberando las tensiones de los muros, mejorando el comportamiento estructural de la vivienda frente a fenómenos sísmicos.

Palabras clave: MUROS DE ADOBE, RESILIENCIA, PATOLOGÍAS DEL ADOBE, REFORZAMIENTO DE MUROS DE ADOBE, SIMULACIÓN SÍSMICA.

Abstract

Vernacular architecture especially those adobe buildings are vulnerable to several seismic events that take place in Ecuador, associated with the bad constructive practice at rural area, without being subject to a rule that regulates this kind of construction, generates injuries that put the stability of housing and the safety of people at risk.

This research aims to perform the constructive technical analysis of adobe dwellings in the community of Charqui, Nabón Canton, which allows identifying main pathologies and failure mechanisms in order to propose constructive technical recommendations to enhance resilience and behavior facing a seismic phenomenon. Adobe buildings were diagnosed based on current anad referece studies, planimetric survey, photographic record. In addition to evaluate the structural behavior we use the SCAD ++ software for seismic simulation.

Main identified pathologies and structural failures contribute to the generation of an atlas of damage, which supports recommendations for constructive solutions that improve housing stability, through the use of electro-welded mesh simulating a system contributed of beams and columns, which guarantees the reinforcement through the absorption of the efforts generated by mechanical stresses, releasing the tensions of the walls, improving the structural behavior of the house against seismic phenomena.

The main pathologies and structural injuries identified contribute to the generation of an atlas of damage to propose recommendations for constructive solutions that improve the stability of the home, through the use of electro-welded mesh simulating a system contributed of beams and columns, which guarantees the reinforcement to Through the absorption of the efforts generated by mechanical stresses, releasing the tensions of the walls, improving the structural behavior of the house against seismic phenomena.

Keywords: ADOBE WALLS, RESILIENCE, ADOBE PATHOLOGIES, ADOBE WALLS REINFORCEMENT, SEISMIC SIMULATION.

Introducción

La mayoría de los países latinoamericanos y del mundo poseen edificaciones construidas con tierra, las cuales han sobrevivido al paso del tiempo, transformaciones urbanas y diversos terremotos. Ciudades como Santiago de Chile, Ica en Perú, entre otras, han realizado varias investigaciones post terremoto, referentes a las características constructivas y patologías que han afectado las construcciones de tierra luego de un sismo, las cuales se tomarán como referentes para el desarrollo de esta investigación.

El alto riesgo sísmico que presenta el Ecuador constituye un problema en la arquitectura vernácula por su característica constructiva, emplazamiento, materialidad y debido a que estas edificaciones, en su mayoría rurales, no están sujetas a una normativa, muchas de ellas son construcciones que paulatinamente han ido formando parte de una estructura urbana.

Las edificaciones en tierra valoran y aprovechan el uso de este elemento, generalmente del mismo sitio, lo que incentiva la autoconstrucción, en gran parte de las zonas rurales no se consideran criterios básicos de las técnicas constructivas, originando a futuro, fallas estructurales, y poniendo en riesgo a las personas que habitan este tipo de vivienda.

La presente investigación tiene como finalidad analizar los muros de las construcciones de adobe, existentes en la comunidad de Charqui, con la finalidad de determinar características constructivas y patologías, para generar recomendaciones y técnicas que refuercen su comportamiento estructural y mejoren su resiliencia ante fenómenos naturales.

Para el desarrollo de esta investigación se distribuye en tres capítulos. En el primer capítulo se aborda lo referente los fundamentos teóricos, como conceptos, aspectos históricos y normativas aplicables que permitan interpretar la problemática. En el capítulo dos se desarrolla el diagnóstico, se describe la zona de estudio, se evalúa las edificaciones seleccionadas y se plantea recomendaciones constructivas para daños estructurales en muros de adobe. En el capítulo tres; construcciones en adobe sismo resistentes, se elaboran recomendaciones para viviendas de adobe sismoresistentes, se describen métodos de estabilización del adobe, la caracterización mecánica, los sistemas de reforzamiento sísmico para muros de adobe, para finalmente realizar la simulación sísmica de vivienda de adobe sin refuerzo y con refuerzo de malla electrosoldada.

La investigación servirá como documento base dentro de la academia para futuras investigaciones. La posterior aplicación y difusión de este material dentro de la comunidad de Charqui será de suma importancia para el mejoramiento de condiciones estructurales de las edificaciones con el propósito de prevenir riesgos para las personas que la habiten.

Problemática

El Ecuador al ser un país con alto riesgo sísmico está expuesto a sufrir catástrofes de diferente naturaleza, la arquitectura vernácula se encuentra vulnerable ante este escenario, particularmente las construcciones en adobe. En la mayoría de los casos, su sistema constructivo no responde adecuadamente a movimientos sísmicos; como afirma Cevallos (2015) esto se presenta con mayor fuerza en las zonas rurales de la Sierra ecuatoriana, donde se evidencia la mayor cantidad de edificaciones en tierra que han sido afectadas por los sismos. Al ser un sistema que brinda ventajas como: fácil acceso a la materia prima y su elaboración incentiva la autoconstrucción, al no estar sujeto a una norma que regule este tipo de construcción, el mal uso del material y falta de conocimiento de estrategias constructivas, genera fallas estructurales como el desprendimiento del material, fisuras, grietas, y hasta un posible colapso ante un fenómeno natural, arriesgando la estabilidad de la vivienda y por ende, la seguridad de las personas.

Objetivos

GENERAL

Analizar el sistema constructivo de los muros en las edificaciones en adobe existentes en la comunidad de Charqui, para identificar sus principales patologías y generar un documento que contenga recomendaciones técnicas y constructivas que mejoren su resiliencia y comportamiento ante un fenómeno sísmico.

ESPECÍFICOS

1. Analizar bibliografía referente a técnicas constructivas sismo resistente en adobe.
2. Realizar el levantamiento de las edificaciones sujetas a la zona de estudio para analizar y determinar las patologías que presentan.
3. Crear un cuadro comparativo entre las técnicas de reforzamiento y sistemas constructivos, a través de la simulación y comportamiento de los muros de adobe que sirva para generar recomendaciones de los resultados obtenidos.

Justificación

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo generar un documento que sea de utilidad en la academia, como una guía constructiva, en el que contenga recomendaciones técnicas, de reforzamiento para los muros de las edificaciones de adobe existentes, y estrategias de diseño para las nuevas edificaciones.

Evitar el deterioro y abandono las edificaciones permitirá, viviendas seguras, con el fin de evitar posibles desastres y reducir gastos de contingencia, que estos pudieran generar, en caso de existir un sismo.

La importancia de esta investigación radica en rescatar los valores y uso de la aplicación de los sistemas constructivos tradicionales, con fundamentos que mejoren su resiliencia y comportamiento estructural frente a un fenómeno sísmico, preservando la salud de las personas y manteniendo la historia, cultura y patrimonio de los pueblos Andinos.

Índice de Contenido

Declaración	I
Certificación	II
Dedicatoria	III
Agradecimientos	IV
Resumen	V
Abstract	VI
Introduccion	VII
Problematica	VIII
Objetivos	IX
Justificacion	X
Índice de Figuras	XIII
Índice de Tablas	XVII
1. Fundamentos Teóricos	1
1.1. Marco Conceptual	1
1.1.1. Sismos	1
1.1.2. Resiliencia	2
1.2. Marco histórico	4
1.2.1. La construcción con adobe en el mundo	4
1.2.2. Efectos de un sismo sobre las viviendas de adobe	5
1.2.3. La construcción con adobe en el Ecuador	11

1.2.4. Riesgo Sísmico en Ecuador	12
1.3. Normativas aplicables a la construcción con tierra	15
2. Diagnóstico	19
2.1. La Zona de estudio	19
2.1.1. Ubicación Geográfica	19
2.1.2. Aspectos ambientales	20
2.2. La Vivienda y los casos de estudio	20
2.2.1. Ubicación de los casos de estudio	22
2.2.2. Metodología de evaluación	23
2.2.3. Evaluación de los inmuebles seleccionados	25
2.3. Atlas de daños	41
3. Construcciones en adobe sismo resistentes	43
3.1. Recomendaciones para viviendas de adobe sismo resistente	43
3.1.1. Emplazamiento en pendiente	43
3.1.2. Forma de la planta	43
3.1.3. Adobe estabilizado	45
3.1.4. Dosificación del barro	46
3.1.5. Mejoramiento de las características del barro	47
3.1.6. Estabilizadores	49
3.2. Caracterización mecánica del adobe	51
3.3. Sistemas de reforzamiento sísmico para muros de adobe	52
3.3.1. Refuerzo con geomalla	53
3.3.2. Refuerzo con elementos de madera	55
3.3.3. Refuerzo con malla electro soldada	57
3.4. Simulación sísmica de vivienda de adobe sin refuerzo, y con refuerzo de malla electrosoldada	59
3.5. Recomendaciones de soluciones constructivas para daños estructurales de muros de adobe	66
4. Conclusiones y recomendaciones	74
4.1. Conclusiones	74
4.2. Recomendaciones	75
5. Anexos	76
5.1. Anexo 1	77

Referencias bibliográficas	85
Referencias	85

Índice de figuras

1.1. Mecanismo de fricción	2
1.2. Mapa de utilización de adobe en el mundo	5
1.3. Mapa de riesgo sísmico mundial	6
1.5. Viviendas de adobe afectadas por terremoto del 2010 en Chile	7
1.6. Vivienda reforzada / Vivienda colapsada durante un sismo.	8
1.7. Viviendas afectadas por el terremoto del 2007 en Perú	9
1.8. Viviendas reforzadas sin daño tras el terremoto de 2007 en Ica	9
1.9. Construcción con tierra en el Ecuador	11
1.10. Fuentes sísmicas de tipo subducción	13
1.11. Fuentes sísmicas de tipo corticales	13
1.12. Mapas de peligro sísmico: (a)50, (b)100, (c)500 y (d)2500 años.	14
1.13. Principales mecanismos de falla en edificaciones de adobe de dos pisos . . .	18
2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	19
2.2. Ubicación de edificaciones a ser analizadas	22
2.3. Vivienda rural de la comunidad de Charqui	23
2.4. Lesiones en muros de adobe en vivienda de dos pisos aislada	29
2.5. Lesiones en muros de adobe en vivienda de dos pisos adosada a un lado .	33
2.6. Lesiones en muros de adobe en vivienda de dos pisos adosada a dos lados .	38
2.7. Lesiones comunes en los muros de adobe	39
3.1. Emplazamiento de una vivienda de adobe sismoresistente	44
3.2. Estructura en planta de la vivienda de adobe	44
3.3. Recomendaciones para vivienda de adobe sismoresistente	45

3.4. Dosificación del barro	46
3.5. Prueba de bolita	48
3.6. Prueba del rollo	48
3.7. Sedimentación en envase de vidrio	49
3.8. Tipos de geomallas	53
3.9. Perforación del muro/ Conectores de cabuya	54
3.10. Colocado de geomalla / refuerzo de la base del muro	54
3.11. Refuerzo de muros de adobe con geomalla	55
3.12. Sistema de refuerzo con elementos de madrea	56
3.13. Refuerzo horizontal con elementos de madera tipo escalerilla	57
3.14. Refuerzo de muros de adobe con malla electrosoldada	58
3.15. Perforación y colocación de la malla electrosoldada	58
3.16. Sistema de refuerzo con malla electrosoldada	59
3.17. Modelado estructural	60
3.18. Sistema aporticado de refuerzo estructural con malla electrosoldada y re- voque cementicio	61
3.19. Isocampos de Momentos flectores sin refuerzo	62
3.20. Isocampos de Momentos flectores con refuerzo	62
3.21. Momentos flectores en y Sin refuerzo	63
3.22. Momentos flectores en y con refuerzo	63
3.23. Tensiones de tracción y compresión no asumidas sin refuerzo	64
3.24. Tensiones de tracción y compresión no asumidas con refuerzo	64
3.25. Deformación en x sin refuerzo	65
3.26. Deformación en x con refuerzo	65
3.27. Deformación en y Sin refuerzo	65
3.28. Deformación en y con refuerzo	65
3.29. Drenaje perimetral	66
3.30. Reposición de la base del muro	67
3.31. Reparación de cubierta y colocación de impermeabilizante	68

3.32. Reposición del revoque agrietado	69
3.33. Reparación de fisuras o grietas con malla electrosoldada	70
3.34. Reparación y refuerzo en encuentro de muros	71
3.35. Componentes y dosificaciones básicas para morteros de arcilla	72
3.36. Construcción de viga corona	72
3.37. Barreras de vidrio molido en la base del muro	73

Índice de tablas

1.1. Tipos de fallas	10
1.2. Normas aplicadas a la construcción con tierra	15
1.3. Recomendaciones de la norma peruana E. 080 para diseño de refuerzos . . .	17
2.1. Tipologías de vivienda analizadas	21
3.1. Granulometría de los componentes del suelo	47
3.2. Comportamiento mecánico del adobe según investigaciones realizadas . . .	51
3.3. Resistencias mínimas del adobe según normativas	52

1.1. Marco Conceptual

1.1.1. Sismos

Un sismo se define como el desplazamiento de la corteza terrestre, o como las vibraciones del suelo a causa de la fuerza mecánica emitida por la superficie de la corteza terrestre. También se producen vibraciones en la superficie a causa del paso de vehículos de gran tamaño, al cual se lo puede denominar como micro sismo o temblor. El efecto de la erupción de un volcán o un movimiento de masas de tierra pueden también producir vibraciones denominadas macro sismos o terremotos (Zelaya, 2015).

Las estaciones encargadas del monitoreo de estos fenómenos como el Instituto Geofísico Militar IGM en el Ecuador registran miles de sismos anualmente, ventajosamente un bajísimo porcentaje alcanza el grado de terremoto.

Como afirma Aguilar(2016), la ausencia de registro instrumental de terremotos en una zona determinada, no garantiza que no hayan sucedido anteriormente o que no se producirán a futuro, por ello se debe buscar otros indicios de actividad sísmica, como evidencias geológicas y tectónicas, o sismicidad histórica pre-instrumental e instrumental. En los sectores rurales, la autoconstrucción sin conocimientos básicos sobre los tipos de suelo, sistemas constructivos, y mucho menos sobre geología es muy común, por ello; es muy importante tener un grado de conocimiento que permita identificar si el área de influencia ha sufrido modificaciones a causa de fallas geológicas o actividad sísmica.

Mecanismo de aparición de sismos

Uno de los mecanismos principales que generan los sismos es la fuerza de fricción, generada por el proceso de subducción de las placas tectónicas, resultado del movimiento de una placa sobre la otra, mismo que se desarrolla discontinuamente por "saltos" que es precisamente lo que da origen a los temblores (Dávila, 2011).

Otra de las causas que generan los sismos es la actividad volcánica, por lo general las áreas volcánicas y las zonas sísmicas coinciden ya que los volcanes son medios de desfogue de energía de la tierra y cuando estos se activan producen sismos que pueden generar

daños en la mampostería de adobe, sin embargo los sismos mas fuerte que que sacuden la litosfera son causados por acción de los esfuerzos internos en las placas, conocidos como "tectónicos" (Zelaya, 2015).

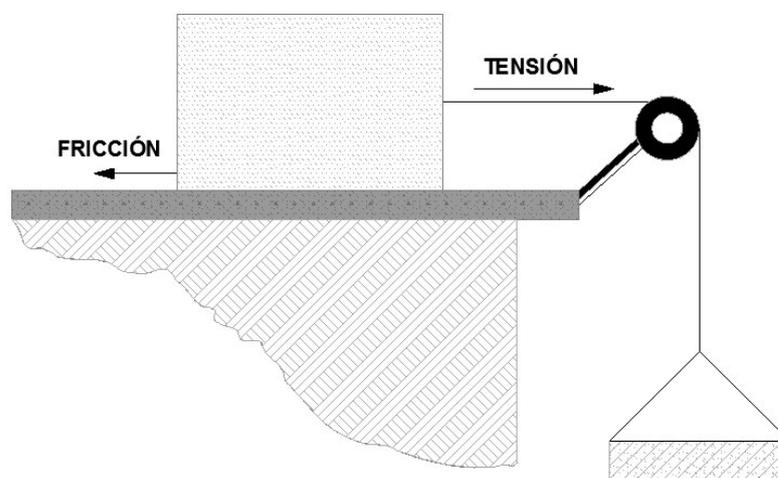


FIGURA 1.1: Mecanismo de fricción
Fuente: Dávila (2011)

1.1.2. Resiliencia

La palabra resiliencia dentro de su raíz latina significa rebotar; es decir, volver atrás, y según la Real Academia Española considera dos criterios: el primero como la cualidad para adaptarse frente situaciones adversas, y el segundo como la capacidad de un elemento, mecanismo o sistema para recobrar su estado original cuando el fenómeno al que estuvo sometido ha terminado (Frogheri, Meneses, y Estévez, 2017).

El concepto de resiliencia dentro de la Arquitectura, según afirma Joel Samper (2017)

“Es la capacidad de la urbe para resistir una amenaza, así mismo absorber, amoldarse y recobrase de sus efectos de forma oportuna y eficaz que incluye la preservación y restauración de sus estructuras y funciones básicas. Las estrategias dirigidas hacia la resiliencia aplican a escala individual, edificatoria, comunitaria, y más extensamente a nivel regional y ecosistémicas; también aplican en diferentes escalas de tiempo, mediano y largo plazo, sistemas pasivos o de control manual, de manera flexible capaces de adaptarse a condiciones cambiantes en corto como a largo plazo”. (p.31)

Así mismo Frogheri, Meneses, y Estéves (2017) en su artículo *Morfologías resilientes: Desde lo digital a la materia*, clasifican el concepto de resiliencia en algunos tipos, de los cuales se pueden adaptar al ámbito de la arquitectura los siguientes:

1. Rs1: Resiliencia individual de los componentes:

Capacidad de variación de los componentes de forma individual, debida a factores de influencia; produce cambios en su naturaleza interna, tales como forma, dimensiones, entre otros.

2. Rs2: Resiliencia general o conjunta de los componentes:

Capacidad de variación en conjunto de los componentes, debido a su asociatividad y la relación entre los mismos, causada por factores externos produciendo variaciones de forma, dimensiones texturas, entre otros. Se puede considerar una forma de adaptación a agentes externos. Un ejemplo de este tipo de resiliencia puede ser la conformación de un edificio, relacionada con condicionantes propias del proyecto, como: cuestiones de posición, pre-existencia, funcionalidad, logística, factibilidad, tiempo, presupuesto, entre otros.

3. Resiliencia material:

Tiene que ver con el objeto material y puede manifestarse de diferentes maneras:

- a) Resiliencia intrínseca de la materia. Es aquella capacidad de variación del componente o del sistema como conjunto, debido a las propiedades intrínsecas del material o de los materiales de los cuales se compone el sistema. Sean estas variaciones determinadas por las propiedades internas de relación entre elementos del sistema, o sean debido a la influencia de factores externos.
- b) RM2: Resiliencia material de la forma. Es aquella capacidad del sistema, vinculada a su materialidad (material de los componentes y de sus uniones), de adaptarse a factores externos, por ejemplo el medio ambiente o sus propios usuarios, sin perder su identidad. Puede ser considerada también una resiliencia estructural, donde el objeto arquitectónico es capaz de auto-sostenerse y mantenerse firme.
- c) RMF: Resiliencia material fija. Son aquellas conformaciones que una vez materializadas, se quedan fijas en el mismo estado.
- d) RMD: Resiliencia material dinámica. Son aquellas conformaciones que una vez materializadas, son capaces de reconfigurarse a través de movimientos u otros cambios de estado, debido a las propiedades intrínsecas de la materia o a la presencia de elementos sensibles y dispositivos electrónicos de entrada y salida en su sistema, que les permiten recibir y elaborar datos, interactuando con el entorno.

Bajo el criterio de que, resiliencia es la capacidad que tiene no solo un material o un edificio sino también un barrio o una ciudad de adaptarse a un desastre causado ya sea por el hombre o por la naturaleza, se busca la adaptación del concepto a las estructuras de adobe, sin olvidar las cualidades de la arquitectura popular en tierra, mediante la utilización de normas, herramientas y estrategias de sistemas constructivos, que permitan asociar a cada uno de los elementos que la conforman, con el fin de lograr que éstas estructuras tengan una mejor respuesta sísmica para resguardar la integridad de la edificación y de sus ocupantes.

1.2. Marco histórico

1.2.1. La construcción con adobe en el mundo

Autores como Gernot Minke (2001), Rotondaro (2012), Blondet(2003), y otros, que trabajan en este tema concuerdan que entre el 40% y 60% de las viviendas en el mundo se levantaron a base de tierra. Ciudades antiguas del Neolítico de Oriente Medio ya empleaban este elemento para sus construcciones; entre ellas cabe citar Çatal Huyuk de 9000 años de edad, en Anatolia (Rotondaro, 2012). Otras ciudades como Ur, Uruk, Kish, Lagash, implantadas en las costas de los ríos Éufrates y Tigris, donde la arcilla y arena es abundante, utilizaron con exuberancia la tierra cruda; los Zigurats (pirámides mesopotámicas) de periodos antiguos utilizaban adobe en el interior de su estructura, Shibam en el sur de Yemen. En el caso de América se destacan el conjunto monumental de adobe de Chan Chan, en la costa norte del Perú, Huaca Pucllana, correspondiente a la Cultura Lima edificada hace 1.500 años, como expresión de una adecuada manera de construcción con adobe (Agüero, Cerón, Gonzáles, y Méndez, 2015). Estas edificaciones a pesar del tiempo en el que fueron construidas, muchas de ellas han soportado fenómenos naturales a lo largo de la historia debido a sus sistemas constructivos apropiados. Lamentablemente hoy en día se ha perdido esa cultura constructiva en tierra que responda ante fenómenos naturales y que se adapte a la realidad tanto ecológica y sísmica que vivimos, es por ello que es muy importante que se empiece a trabajar sobre el tema de resiliencia, en la arquitectura de tierra.

La utilización del adobe es común en la mayoría de regiones del mundo proclives a sufrir catástrofes naturales (Blondet et al., 2003). Varios países que se encuentran en zonas vulnerables trabajan en investigaciones relacionadas a la mitigación de desastres, especialmente en el tema de la construcción con tierra en donde se enfatiza la necesidad de buscar soluciones a este conflicto.

A lo largo del tiempo, desde que las primeras comunidades desarrollaron algún grado de estabilidad y sedentarismo, la vivienda ha sido un elemento fundamental para permitirles comodidad y estabilidad; junto con ella el entrono ha cumplido un importante rol, ya que no solo les permitía acceder a la obtención de los alimentos o cubrir necesidades básicas, sino además la geografía determinaba su ubicación, forma y materialidad teniendo en cuenta el clima, la topografía, disponibilidad de recursos, y otros. A esas características hay que incorporar en la respuesta arquitectónica, influencia cultural, económica y de la sociedad, elementos capaces de plasmarse y marcar diferencias, así como también las condiciones de riesgo que involucra su asentamiento (Elgueta, 2013).

Como menciona Achig y Abad (2015), en América Latina a diferencia de las construcciones coloniales, republicanas o actuales, que han sido afectadas por sismos, existen edificaciones como el caso del complejo arqueológico Huaca Pucllana en Lima que data de mas de 1500 años de antigüedad, mateniendose aún en pie.

Los terremotos ocurridos en Chile (2010), Perú (2007) Haití (2010), Indonesia (2016), Japón y Turquía (2011) han evidenciado la susceptibilidad de las estructuras de adobe, y



FIGURA 1.2: Mapa de utilización de adobe en el mundo

Fuente: Blondet, Villa y Brzev (2003)

el riesgo al que están expuestas las personas que habitan en este tipo de viviendas en zonas sísmicas (Quispe y Rondón, 2012), por eso es fundamental que en el Ecuador se empiece a sentar bases sobre una cultura constructiva sismo resistente, especialmente en el sector rural donde la tierra es utilizada en gran porcentaje como material de construcción, con un papel protagónico de la autoconstrucción.

1.2.2. Efectos de un sismo sobre las viviendas de adobe

La mayoría de países donde se construye con tierra, presentan riesgo sísmico como se observa en la Fig. 1.3, donde se presenta las zonas con mayor peligro sísmico, siendo el Cinturón del Pacífico la primera, que comprende toda la costa oeste del continente americano, desde Alaska hasta e sur de Chile y desde la parte norte de las islas Aleutianas siguiendo por todas las islas del Japón hasta Indonesia y Nueva Zelanda. La segunda zona denominada Mediterráneo-Himalaya que va desde las islas Azores al sudoeste de la Península Ibérica, pasando por Italia, Grecia, Turquía, Persia llegando hasta el Himalaya y norte de la India y China. Finalmente la tercera zona esta conformada por cordilleras submarinas que dividen el Atlántico (Mena, 2002).

La documentación de los daños causados por sismos fuertes resulta indispensable a fin de descifrar el comportamiento de las viviendas de adobe durante un evento sísmico. Existe la posibilidad de que alguno de los componentes de la edificación, o en su totalidad colapsen en un terremoto, sin embargo no se puede afirmar que las construcciones de adobe tengan respuestas negativas ante un sismo únicamente por el agrietamiento de sus paredes (Tolles, Kimbro, y Ginell, 2005).

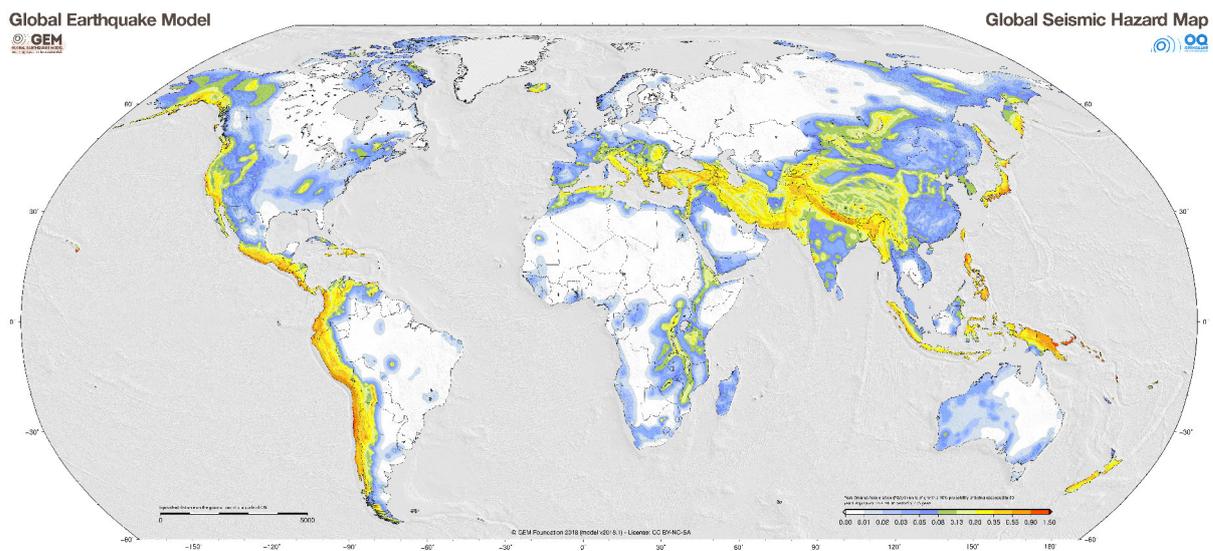


FIGURA 1.3: Mapa de riesgo sísmico mundial
Fuente: Global earthquake model GME, 2018.

Según Minke (2001) el poder destructivo de un sismo y sus consecuencias depende de la magnitud, profundidad del foco, distancia al lugar, geología, topografía, suelo y subsuelo local, duración y frecuencia en la zona, por lo tanto la magnitud de un sismo es una de las variantes que determinan los efectos del mismo. Los daños en las construcciones están determinados por la aceleración del suelo, su frecuencia y los impactos horizontales debido al desplazamiento horizontal de la tierra, son los que afectan en su mayoría a la construcción. El choque vertical debido a la acción del sismo representan menos del 50 % de los daños (Minke, 2001).

Los esfuerzos que genera un evento sísmico en los muros probablemente excedan la capacidad de tracción del adobe como material, y la respuesta dinámica de la estructura cambia de manera considerable: la frecuencia de vibración disminuye y los desplazamientos de muro o de un segmento del muro pueden aumentar hasta 3 veces, generalmente los muros tienden a colapsar hacia afuera de la vivienda lo que permite que la cubierta y los entrepisos se desplomen hacia su interior, lo cual eleva el riesgo para sus ocupantes. (Tolles et al., 2005).

Las áreas en las que se concentran los mayores esfuerzos generalmente es donde se forman las grietas, como las esquinas de aberturas (ventanas y puertas), las intersecciones y la base de los muros. Las grietas en puertas y ventanas se pueden generar por fuerzas de flexión o corte, por otro lado en las intersecciones de los muros las grietas verticales y diagonales son producto de la combinación de flexión y tracción (Tolles et al., 2005).

En el reporte de los ensayos de simulación sísmica de Ottazzi et al. (2006) se menciona que por lo general el agrietamiento se inicia en las esquinas de las ventanas y los daños se concentran mayormente en los muros de corte (paralelos a la dirección del movimiento). Es importante aplicar un sistema de refuerzo ya que si bien no tiene una influencia significativa en la resistencia y rigidez de la estructura en una etapa previa a la fisuración,

al momento que ocurren las mismas, el efecto refuerzo es notorio ya que controla los desplazamientos reduciendo el nivel de daño en la estructura y principalmente evitando el colapso.

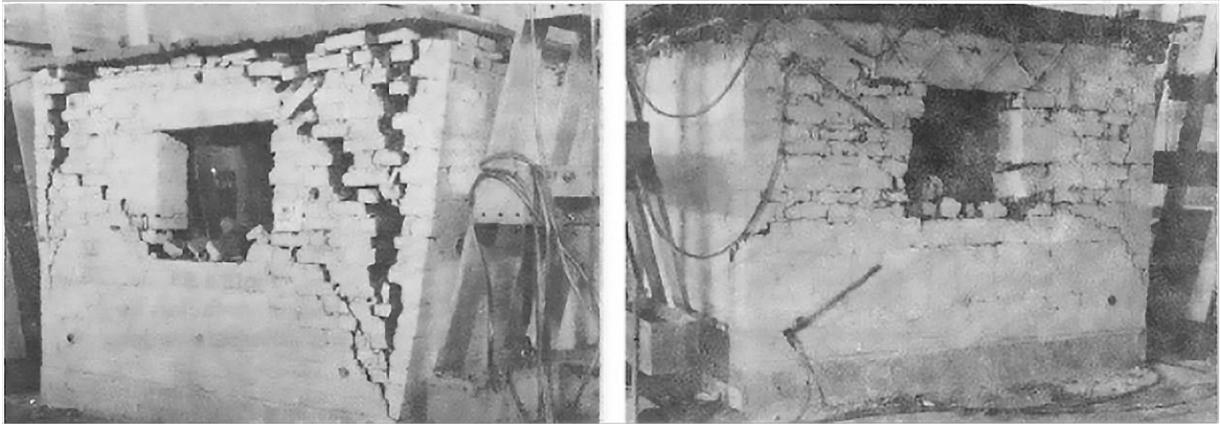


FIGURA 1.4: Módulo a escala natural sin refuerzo (izq) Módulo a escala natural con refuerzo de caña horizontal y vertical (der)
Fuente: Ottazzi et al. 2006.



FIGURA 1.5: Viviendas de adobe afectadas por terremoto del 2010 en Chile
Fuente: Hernández (2016).

Países como Perú y Chile, al igual que Ecuador tienen alto riesgo sísmico, han sufrido desastres naturales, como los terremotos ocurridos en 2001, 2007 en el Perú, 2005 en Chile, los cuales tuvieron resultados desastrosos en las viviendas de adobe, afectando sobre todo a los poblados de bajos recursos, generalmente los factores que afectan son: los materiales de baja resistencia mecánica, el procedimiento de construcción defectuoso, la carencia de elementos de refuerzos, entre otras (San Bartolomé y Quiun, 2012), provocando pérdidas materiales y humanas incontables.

Según San Bartolomé, y Quiun (2012) donde se menciona que entre el año 1994 y 2007 se realizó en Perú el proyecto piloto *Estabilización de las construcciones existentes de adobe* para 20 viviendas ubicadas en diversas zonas de riesgo del Perú con abundancia en construcciones de tierra, con el objetivo de dar la suficiente resistencia y ductilidad sísmica a las viviendas existentes, para que en el caso de un terremoto sus ocupantes tengan el tiempo necesario para evacuar. La primera evaluación se dio luego del terremoto ocurrido el 23 de junio del 2001 de magnitud 8.4 en el sur del Perú, donde las primeras viviendas que participaron en el proyecto de reforzamiento como se observa en la Fig. 1.6 tuvieron excelentes respuestas sísmicas, mientras que las viviendas de adobe aledañas que no tenían refuerzos sufrieron graves daños o colapsaron (San Bartolomé y Quiun, 2012).

Posteriormente el sismo ocurrido en agosto del 2007 provocó numerosos daños a las construcciones de adobe en Cañete, Chincha, Pisco, Ica al norte del Perú, Fig. 1.7 en el cual hubo 519 personas fallecidas, 70993 viviendas destruidas y 33861 afectadas. Por su parte en el terremoto ocurrido en Chile, las edificaciones de adobe sufrieron lesiones como desplome de sus muros y agrietamientos transversales como consecuencia de las sollicitaciones mecánicas (San Bartolomé y Quiun, 2012). Fig. 1.7.



FIGURA 1.6: Vivienda reforzada / Vivienda colapsada durante un sismo.

Fuente: San Bartolomé y Quiun, 2016.

Dentro de la zona afectada se encontraban cinco viviendas reforzadas por el proyecto mencionado, las cuales soportaron el terremoto y sus réplicas sin dificultades, a diferencia de las viviendas tradicionales carentes de refuerzo que colapsaron o se vieron severamente afectadas (San Bartolomé y Quiun, 2012), con lo cual demostró que este sistema de refuerzo responde a las necesidades estructurales del adobe para soportar fenómenos sísmicos de estas magnitudes, evitando pérdidas humanas como materiales.

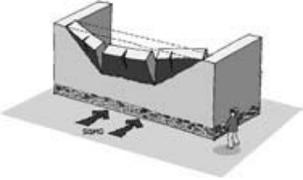
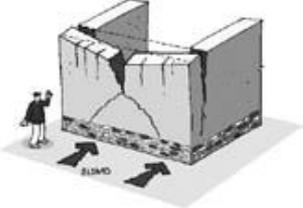
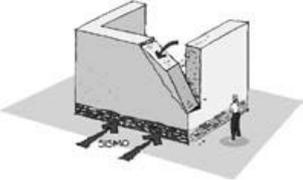
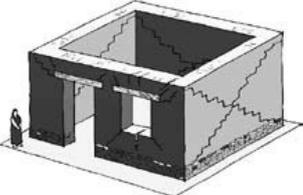
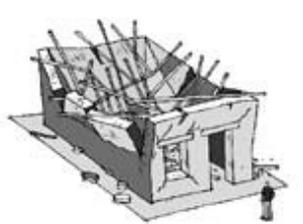
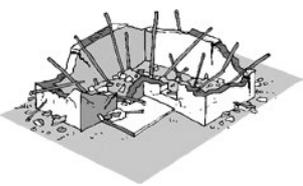


FIGURA 1.7: Viviendas afectadas por el terremoto del 2007 en Perú
Fuente: San Bartolomé y Quiun, 2016.



FIGURA 1.8: Viviendas reforzadas sin daño tras el terremoto de 2007 en Ica
Fuente: San Bartolomé y Quiun, 2016.

Tabla 1.1: TIPOS DE FALLAS

FALLA	DESCRIPCIÓN
	Flexión perpendicular al plano del muro. Agrietamiento horizontal en la base o a una altura intermedia y agrietamientos verticales adicionales, falla frecuente en longitudes grandes.
	Falla por flexión perpendicular al plano del muro con agrietamiento vertical en la zona central. Agrietamiento diagonal que constituye el mecanismo de falla y fisuración en la parte superior.
	Falla por flexión perpendicular al plano en las esquinas no confinadas de muros sueltos, o en esquinas no conectadas efectivamente con los muros transversales.
	Lesión por cortante en el plano del muro, generada por empujes horizontales, sobrecarga de entrepisos o cubiertas, asociados a las aberturas de gran tamaño correspondientes a las puertas y ventanas en los muros.
	Desplome de la cubierta hacia el interior de la edificación, por efecto de la carga puntual que provoca la estructura en la parte superior del muro, generada por la ausencia de una viga corona que distribuya las cargas.
	Falla global de la cubierta producto de su deterioro, lesiones en la parte superior del muro o la falta de una viga corona que distribuya las cargas evitando fallas puntuales que debilitan el muro.
	Lesión generada por la irregularidad en los vanos, ausencia de viga collar que amarre la estructura y distribuya las cargas generadas por el entrepiso, y el peso propio de la mampostería de adobe.

Fuente: Yamin, Phillips, Reyes y Ruiz, 2007. Elaboración: Henry León

1.2.3. La construcción con adobe en el Ecuador

El Ecuador está ubicado en una de las zonas más sísmicas de Sudamérica en el denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, donde la tradición de construir con tierra se ha mantenido a lo largo de la historia. Las técnicas que predominaban fueron el adobe, tapial y el bahareque, al igual que Centro y Sur de América aún se encuentran vigentes, aunque desplazadas por la evolución tecnológica, y el desprestigio que ha ganado por los sismos (Pesántes y González, 2011), adicionalmente existen varios factores que afectan las construcciones de adobe como: la falta de mantenimiento, elección de suelo inadecuado, y el erróneo procedimiento constructivo, asociado a los desastres naturales pueden ocasionar pérdidas humanas y materiales.

El sector rural aún mantiene la tradición de construir con adobe, en consecuencia, a pesar del desarrollo tecnológico, en el Ecuador se evidencia la tradición de construir con este sistema, no obstante la preservación de esta práctica constructiva se condiciona debido al avance tecnológico y a la incorporación de recursos ajenos al sistema constructivo, como el hormigón y el metal, hasta los conceptos erráticos que construir con barro es una técnica de valor económico elevado, o por el contrario en términos sociales es sinónimo de pobreza (Pesántes y González, 2011).

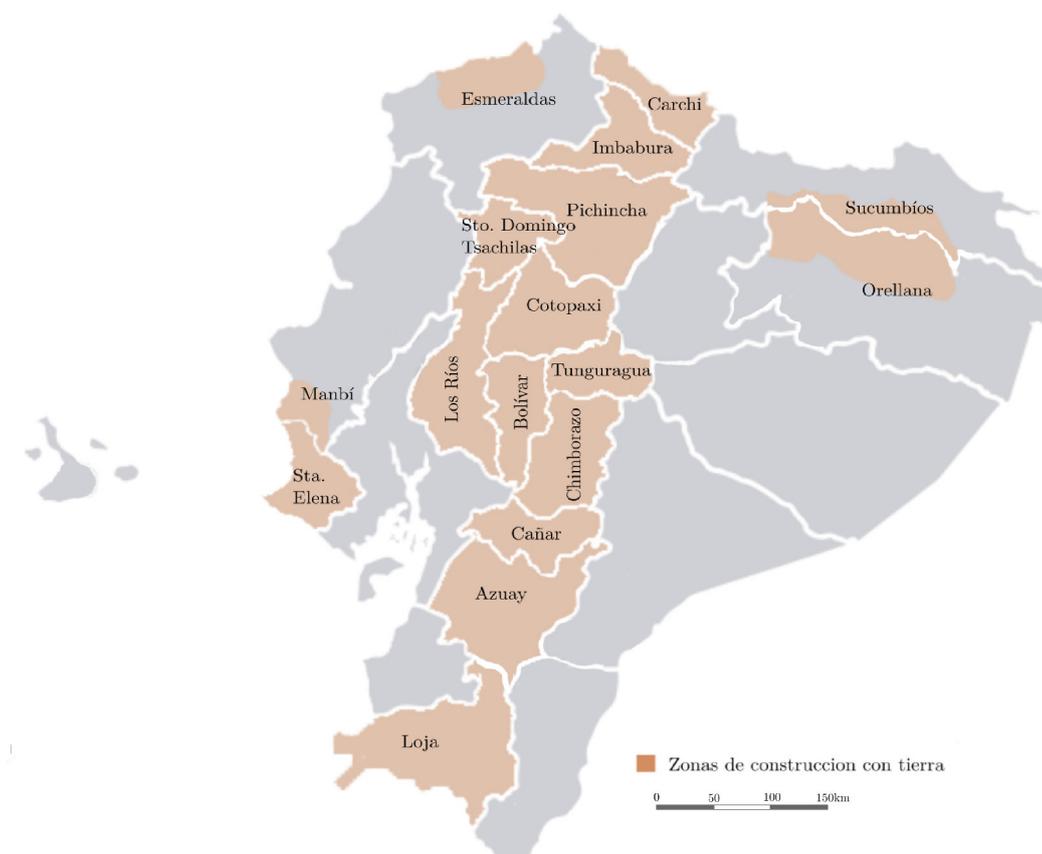


FIGURA 1.9: Construcción con tierra en el Ecuador
Fuente: Lara, 2016

Las edificaciones en tierra cruda tienen un importante rol en el patrimonio urbano-arquitectónico en el Ecuador, especialmente en el área rural de Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Bolívar, Azuay, entre otras (Fig. 1.9), donde las prácticas constructivas con adobe, tapial o bahareque, aún se evidencian, como respuesta de la población respecto a su cultura, etnia, a los recursos naturales y a las condiciones meteorológicas de cada región, siendo presentada como resultado de su imaginario colectivo ancestral (Lara, 2017), donde se aprovecha la disponibilidad del elemento, por lo general del mismo sitio, lo que incentiva la autoconstrucción y lamentablemente no se consideran criterios adecuados de las técnicas constructivas, originando potenciales fallas estructurales, poniendo en riesgo a las personas que habitan este tipo de vivienda.

Hoy en día la construcción en tierra se manifiesta como una tendencia innovadora hacia la arquitectura sostenible, como exponen Fontaine y Anger (citado por Lara 2017), que la tierra como componente en la construcción, sería la alternativa para dar solución al déficit de vivienda en el mundo. La tierra cruda es un elemento disponible en todo el planeta y podría contribuir a su sostenibilidad por sus propiedades ecológicas, sociales y económicas. Se podría pensar en la posibilidad que en Ecuador se puede contribuir a reducir la huella ecológica y a su vez combatir el déficit de vivienda mediante la adecuada utilización de éste material.

1.2.4. Riesgo Sísmico en Ecuador

De acuerdo a la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), todo el territorio ecuatoriano presenta exposición sísmica elevada, a excepción del Nororiente que tiene riesgo intermedio, y el Litoral ecuatoriano muy alto. El Ecuador, distribuido en; Costa, Sierra, Oriente y Región insular o Galápagos, reúne gran cantidad de fallas producto de la geodinámica regional.

La parte norte del Ecuador forma parte del llamado *bloque andino*, pertenece a la placa sudamericana, la cual interactúa con las placas Nazca, Cocos y Caribe. La zona sur está afectada por la acción de las placas Sudamericana y Nazca, la conducta dinámica de la región provoca un proceso de fallas denominado Sistema Mayor Dextral, que forma el límite entre el *bloque andino* y la Placa Sudamericana, presentando mayor acumulación de fallas y una accidentada topografía en la región sierra, asociado con la subducción presente en las costas del pacífico, representan las causantes principales de eventos sísmicos (Quinde y Reinoso, 2016).

La sismicidad en el Ecuador se fundamenta por dos tipos: sismos por subducción entre la placa de Nazca y la Sudamericana Fig. 1.10 y los de tipo corticales (superficiales) Fig. 1.11 que ocurren al interior la placa Sudamericana. Ecuador presenta dos sectores con potencial sísmico; la zona de subducción, en la que se encuentra más afectadas las provincias de Manabí y Esmeraldas, en donde se registran mayores valores, concordando con fenómenos de magnitudes que superan los 7 grados en la escala de Richter que se han presentado en los últimos años. Otra de las zonas de alto riesgo es la que se encuentra en la región Sierra Norte, se debe a eventos de tipo cortical, lo cual se atribuye al la difícil

estructura de fallas presentes en la región (Quinde y Reinoso, 2016).

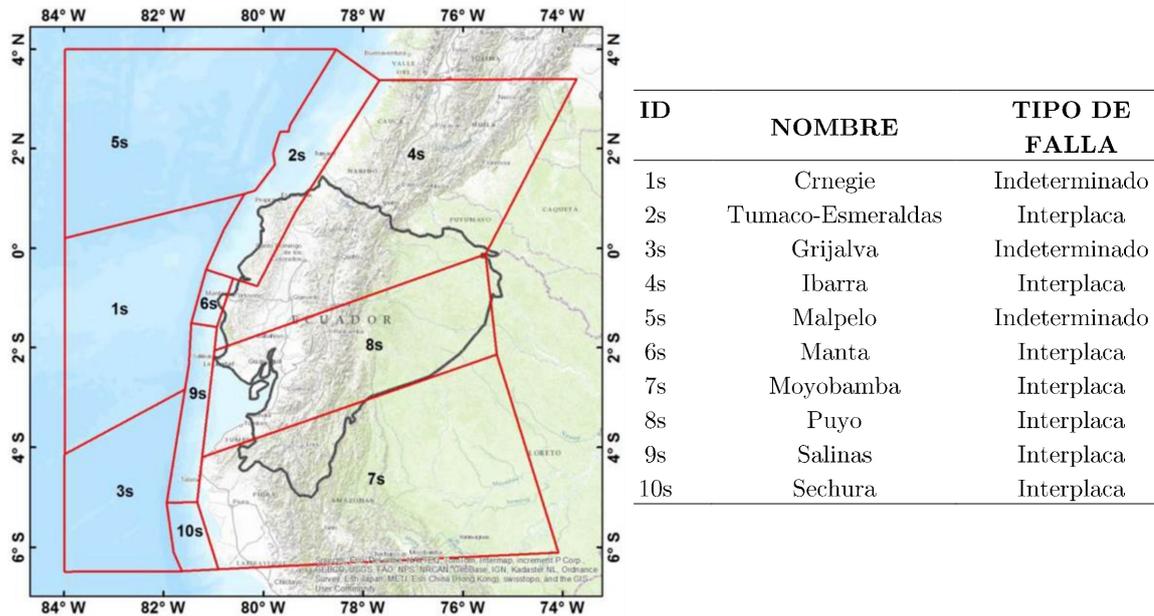


FIGURA 1.10: Fuentes sísmicas de tipo subducción
Fuente: Quinde y Reinoso, 2016

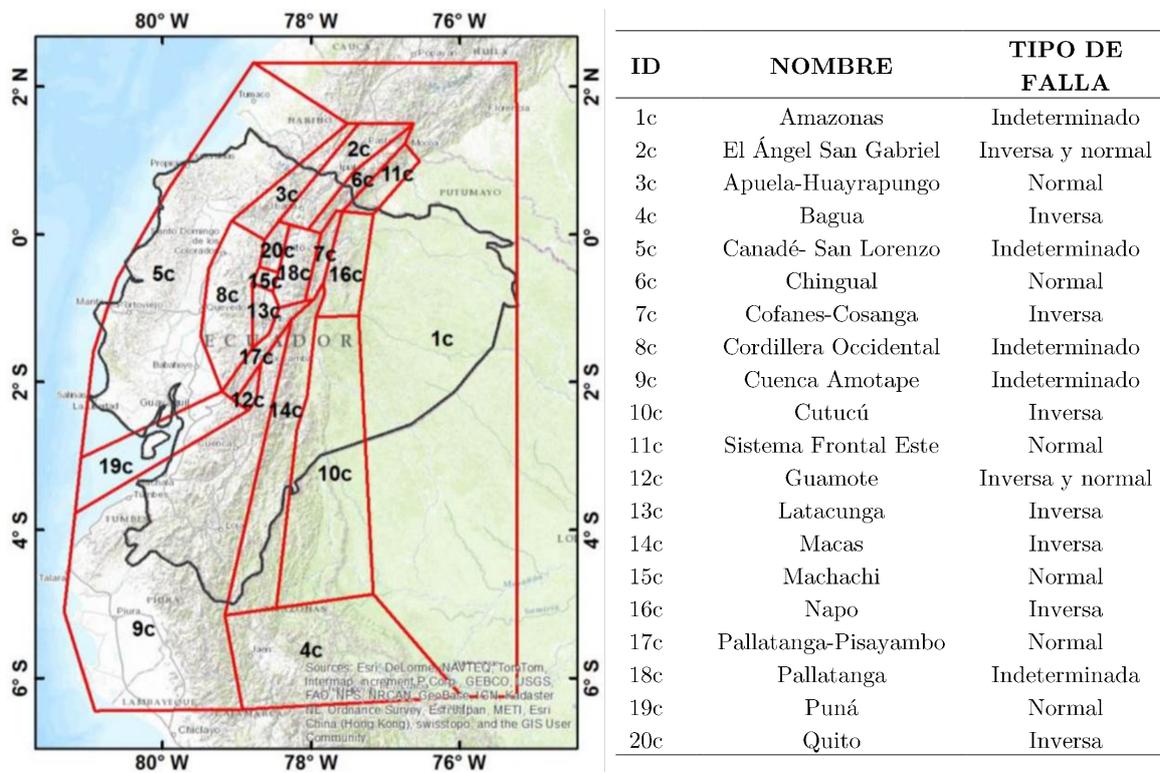


FIGURA 1.11: Fuentes sísmicas de tipo corticales
Fuente: Quinde y Reinoso, 2016

Si bien la zona en la que se lleva a cabo esta investigación no se encuentra dentro de los valores mas altos (Fig 1.12), sí presenta una considerable amenaza, la cual no se puede dejar de lado al momento de planificar edificaciones, teniendo en cuenta que en el sector rural la auto-construcción es el procedimiento más utilizado en la solución de vivienda, en el que no se aplican conceptos, ni criterios básicos de sismoresistencia.

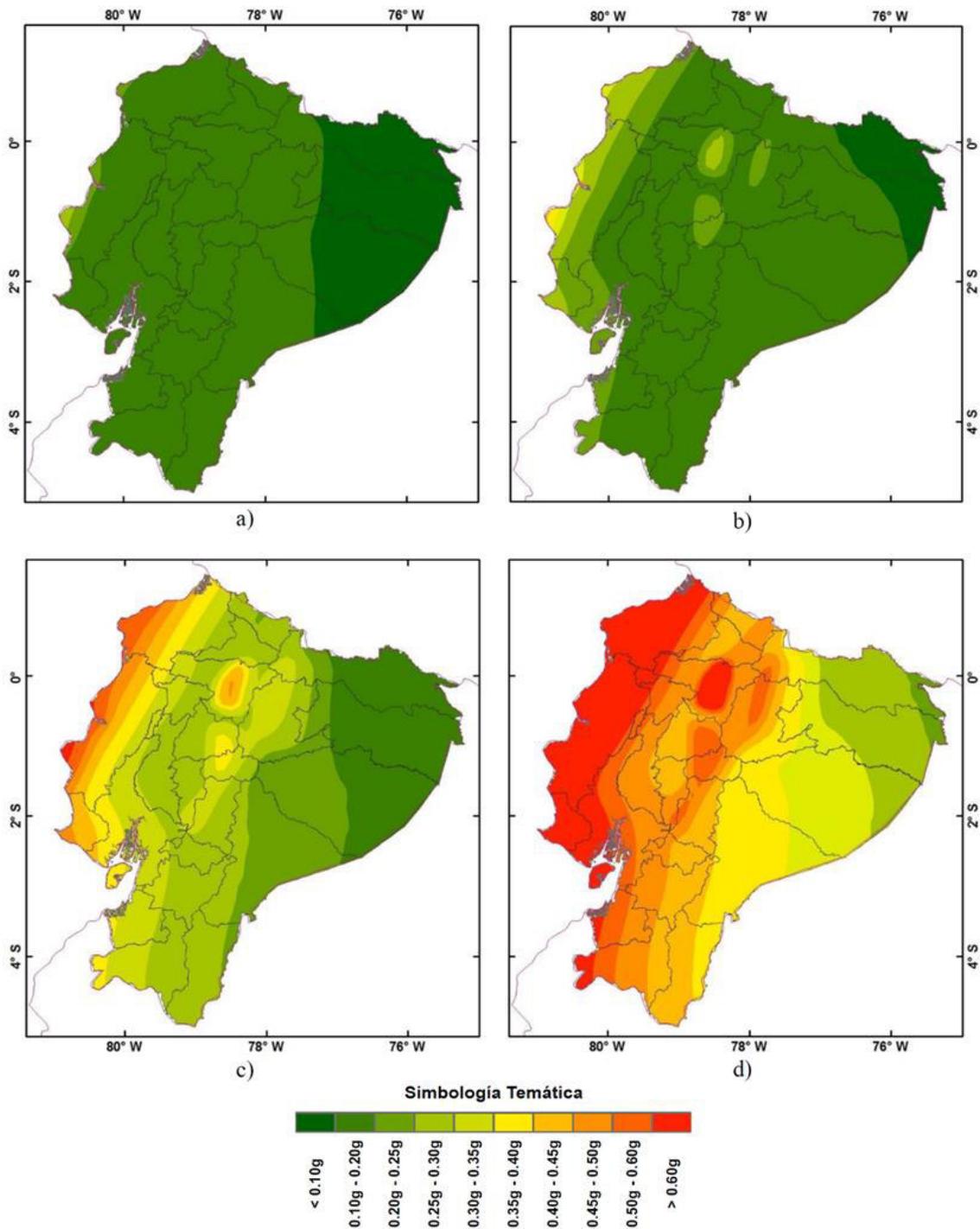


FIGURA 1.12: Mapas de peligro sísmico: (a)50, (b)100, (c)500 y (d)2500 años.

Fuente: Quinde y Reinoso, 2016

1.3. Normativas aplicables a la construcción con tierra

La aplicación de la tierra cruda como elemento constructivo se basa en el empirismo, hasta aproximadamente mediados del siglo XX, obteniendo ejemplos de construcción con tierra, pero a su vez muchas falencias en aplicación (Yuste, 2009).

En la actualidad, el interés por retomar la aplicación de este noble material en la construcción ha incrementado notablemente, y ante la falta de normativa muchos países trabajan en ello, con el fin de establecer parámetros de seguridad y confort para evitar los problemas actuales derivados de la falta de normativa. En la Tabla 1.2 se mencionan los países que proponen normas aplicables a la construcción con tierra cruda, en este caso se toma únicamente las normas y reglamentos para adobe.

Tabla 1.2: NORMAS APLICADAS A LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA

PAÍS	NORMA	ORGANISMO	NOTAS
Estados Unidos	NMAC,17.7.4,2004	CID	Reglamento Estatal de Nuevo México
Estados Unidos	ASTM E2392 M-1	ASTM	
India	IS 138227: 1993	BIS	Directrices resistencia a terremotos
Italia	Ley N 378, 2004		Leyes para la conservación del patrimonio de tierra
Italia	L.R. 2/06 2 2006		Leyes para la conservación del patrimonio de tierra
Nueva Zelanda	NZS 4297, 1998.	SNZ	
Nueva Zelanda	NZS 4298, 1998.	SNZ	
Nueva Zelanda	NZS 4299, 1999	SNZ	
Perú	NTE E 0,80, 2000	SENCICO	
Perú	NTP 331,201, 1979.	NDECOPI	
Perú	NTP 331,202, 1979.	NDECOPI	
Perú	NTP 331,203, 1979.	NDECOPI	
Turquía	TS 537, 1985.	TSE	En turco
Turquía	TS 2514, 1985.	TSE	En turco
Turquía	TS 2515, 1985.	TSE	En turco

Fuente: Cid, Mazarrón y Cañas, (2016)

Al no contar con un marco legal propio en el que se establezcan parámetros de seguridad y confort en el tema de construcciones en tierra, se recomienda regirse a la Norma NTE E.080 (2000) del Perú para construcciones con adobe.

Para este estudio se tomará como referentes las normas: NTE E 0.80 del Perú y la

norma NZS 4298 de Nueva Zelanda, ya que proponen valores mínimos del comportamiento mecánico que deben cumplir la mampostería de adobe, en el caso de la primera es la que recomienda la propia Norma Ecuatoriana de Construcción NEC para edificaciones en tierra.

Las deficiencias en la construcción con tierra se evidencian en la mayoría de los procesos constructivos de viviendas de adobe, los cuales se puede mencionar: el emplazamiento, cimentación, elaboración de adobes, pérdida de plomo de muros, encuentros de paredes, vanos muy grandes, irregularidad tanto horizontal como vertical, apoyos y anclaje inadecuados, estructura de cubierta deficiente, entre otros (Cevallos, 2015).

Uno de los principales factores que determina una adecuada construcción es el sitio de implantación, para lo cual la norma E.080, recomienda que:

No se harán construcciones de adobe en suelos granulares sueltos, en suelos cohesivos blandos, ni arcillas expansivas. Tampoco en zonas propensas a inundaciones cauces de avalanchas, aluviones o huaycos o suelos con inestabilidad geológica.(p.6)

En toda vivienda la cimentación debe estar implantada sobre un suelo duro o medianamente duro y estable, para ello la norma NTE E.080 (2000) recomienda:

Los cimientos deben tener mínimo de 60cm de profundidad a partir del suelo natural, un espesor mínimo de 40 cm y deberán transferir la carga de los muros al terreno de acuerdo al esfuerzo admisible, serán de hormigón ciclópeo o de mampostería de piedra. El sobrecimiento tendrá una altura sobre el nivel del terreno natural mínimo de 20cm y será de hormigón ciclópeo o de mampostería de piedra (NTE E.080, 2000, pág. 7).

Los adobes que serán utilizados necesariamente deben cumplir requisitos mínimos para su elaboración, para ello la norma NTE E.080 (2000) de adobe recomienda:

Requisitos Generales

La composición del suelo deberá tener porcentajes aproximados a: arcilla 10-20 %, limo 15-25 % y arena 55-70 %, no debiéndose utilizar suelos orgánicos. Estos rangos pueden variar cuando se fabriquen adobes estabilizados. El adobe debe ser macizo y sólo tendrá perforaciones perpendiculares la superficie de asiento, que no representen más de 12 % del área bruta de esta cara, estará libre de sustancias ajenas al material, grietas, rajaduras u otros defectos que puedan afectar su resistencia o durabilidad. (p.4)

Formas y Dimensiones

Los bloques pueden ser de planta cuadrada o rectangular y en el caso de intersecciones diferentes de 90°, de conformación especial. Para adobes rectangulares el largo será el doble del ancho, la relación entre el largo y la altura debe ser del orden de 4 a 1, en lo posible la altura debe ser mayor a 8 cm. (p.4)

Recomendaciones para su elaboración

El barro debe tener la suficiente humedad, estar libre de agentes extraños, piedras mayores de 5 mm, se debe dejar en reposo húmedo durante 24 horas, los bloques de adobe serán secados bajo sombra. (p.4)

Los refuerzos deben ser diseñados de acuerdo con la esbeltez de los muros, para ello la norma peruana E.080 (2006) propone lo indicado en la Tabla 1.3

Tabla 1.3: RECOMENDACIONES DE LA NORMA PERUANA E. 080 PARA DISEÑO DE REFUERZOS

Esbeltez	Arriostres y refuerzos obligatorios	Espesor del muro	Altura del muro
≤ 6	Solera	0,40 - 0,50	2,40 - 3,00
$6 \leq 8$	Solera + elementos de refuerzo horizontal y vertical en los encuentros de muros	0,30 - 0,50	2,40 - 4,00
$8 \leq 9$	Solera + elementos de refuerzo horizontal y vertical en toda la longitud de los muros	0,30 - 0,50	2,70 - 4,50

Fuente: Norma NTE E.080, 2000.

La rotura de los muros es inevitable cuando los vanos superan el 1/3 de su longitud, ya que estos se convierten en posibles planos de falla. Al respecto la norma NTE E.080 (2017) recomienda:

El espesor de los muros se determinará en función de la altura libre de los mismos y la longitud máxima del muro entre arriostres verticales será de 12 veces el espesor del muro. (p.7) Tabla (1.3).

Los vanos estarán centrados y serán regulares, el borde vertical de puertas y ventanas se considera como libre, el ancho de los vanos no deben exceder el 1/3 de la longitud del muro y la dimensión entre el vano y la esquina del muro será menor de 3 ni mayor de 5 veces el espesor del muro. (p.7)

Otra de las frecuentes deficiencias en las construcciones de adobe es la ausencia de la viga collar o también llamada viga solera. Estas pueden ser de hormigón armado o madera, deben estar ancladas debidamente a los muros para sujetar la cubierta con el muro, además de transmitir uniformemente los esfuerzos para evitar la fisuración de las esquinas y encuentros de los muros.

El Ecuador pese a ser un país que presenta alto riesgo sísmico y estar expuesto a sufrir desastres naturales que podrían ser devastadores, no cuenta con normativa propia que regule las construcciones en tierra, y que se adapte a las condiciones geológicas y sísmicas propias. Esto asociado al cambio climático hace inevitable la utilización de tecnologías sostenibles. La tierra es uno de los materiales más nobles para combatir este problema,

en el que la academia debe formar parte esencial en el proceso de investigación y difusión de buenas prácticas en construcción con tierra cruda.

En la actualidad en Ecuador existen muy pocos profesionales involucrados en la construcción con adobe, que conozcan la vulnerabilidad mecánica del material, que hagan uso de tecnologías sísmo resistentes, motivo por el cual es fundamental difundir y aplicar los conceptos y metodologías de las investigaciones que permitan dar respuesta ante las problemáticas existentes actuales

Las investigaciones realizadas en países como Perú, Chile que estudian la vulnerabilidad sísmica, demuestran que la adecuada aplicación de sistemas constructivos anti-sísmicos en adobe responden de mejor manera ante un terremoto, a diferencia de las construcciones empíricas que por lo general sufren daños severos e inclusive llegan a colapsar causando numerosas pérdidas materiales y humanas.

A continuación se presenta una imagen resumen de las principales fallas que se dan en una vivienda convencional de adobe debido a movimientos sísmicos.



FIGURA 1.13: Principales mecanismos de falla en edificaciones de adobe de dos pisos

Fuente: Yamin et al., 2007 Elaboración: Henry León

2.1. La Zona de estudio

2.1.1. Ubicación Geográfica

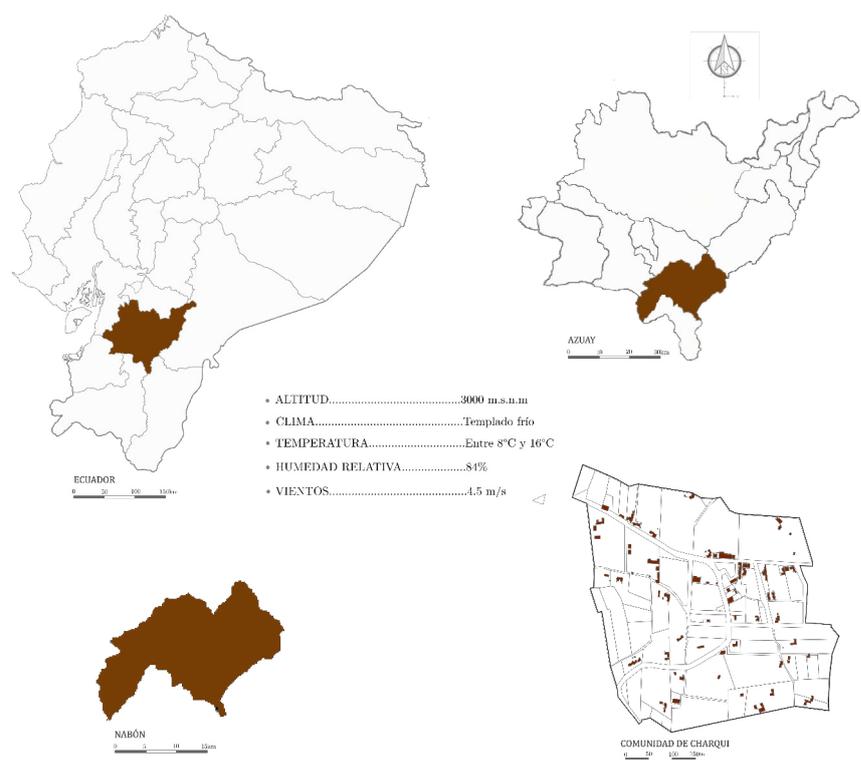


FIGURA 2.1: UBICACIÓN GEOGRÁFICA
 Elaboración: Henry León

Charqui es una de las comunidades que conforman el cantón Nabón, se encuentra a quince minutos en vehículo del Centro Cantonal. Está ubicada a 3000 msnm, la topografía del lugar es irregular a excepción de área central que mantiene características regulares.

2.1.2. Aspectos ambientales

Un punto fundamental en la investigación son los aspectos ambientales ya que son condicionantes que influyen directamente en el deterioro, y el mantenimiento de las edificaciones de adobe.

Los datos que se presentan a continuación fueron obtenidos del POT de la Comunidad de Charqui (2008) en el cual se establece que la zona analizada oscila entre los 2900 y 3200 msnm, siendo una zona templada y fría, cuya temperatura varía entre 8°C en la parte más alta, y 16°C la baja. Las precipitaciones mayores se dan en época de lluvia entre febrero y abril. La humedad relativa media es del 84 %, con mínimas entre julio y diciembre 82 % y máximas en los meses lluviosos de febrero a abril con 86 %.

Los vientos, se afirma que; a los 2500 msnm la velocidad media de los vientos es de 4,5 m/s, siendo mayores entre junio y agosto 5,5 m/s y menores en los meses lluviosos 4,0 m/s, las ráfagas máximas llegan a 10 m/s (GAD del Cantón Nabón, 2008).

Topografía y erosión

Nabón se caracteriza por su accidentada topografía por ser una zona montañosa, en gran parte de estas zonas no es posible que se desarrollen asentamientos poblacionales ni actividades agropecuarias ya que superan pendientes del 30 %.

Según el POT (2008) las áreas con capacidad para recibir asentamientos humanos son las zonas con pendientes poco pronunciadas (faldeos y mesetas con pendientes inferiores al 30 %) de las cuales se reducen 12 % del total de la superficie geográfica, siendo un factor muy importante a la hora de planificar una edificación.

2.2. La Vivienda y los casos de estudio

En la comunidad de Charqui existe un predominio de viviendas tipo casa o villa, con mayor número de edificaciones de 1 piso, y en menor porcentaje de 2 pisos.

El material que predomina es el adobe en los muros, la madera y teja en la cubierta, existiendo un porcentaje muy bajo de utilización de materiales contemporáneos, con una evidente arquitectura de carácter rural, en la gran mayoría de edificaciones se puede observar que fueron construidas con materiales propios del lugar y con un sistemas constructivos tradicionales.

Las viviendas de dos pisos presentan mayor número de lesiones patológicas ya sea físicas, mecánicas o químicas, a diferencia de las edificaciones de una sola planta. Para la presente investigación se seleccionó tres tipologías de edificaciones para el análisis: de dos pisos aisladas, adosadas en uno de sus lados y adosadas dos de sus lados para determinar el comportamiento y fallas que se presentan en los diferentes casos.

Tabla 2.1: TIPOLOGÍAS DE VIVIENDA ANALIZADAS

TIPOLOGÍAS DE VIVIENDA ANALIZADAS	
TIPOLOGÍA	DOS PISOS AISLADA
	 
TIPOLOGÍA	DOS PISOS ADOSADA A UNO DE SUS LADOS
	
TIPOLOGÍA	DOS PISOS ADOSADA A DOS LADOS
	 

Elaboración: Henry León

La elección de esta tipología se fundamenta en el método constructivo de la vivienda y las presentes fallas estructurales ocasionadas por factores ambientales, físicos, mecánicos, o por sistemas constructivos deficientes, y al no contar con la estructura adecuada para soportar el peso del material, el riesgo de colapso es mayor poniendo en peligro la vida de los ocupantes.

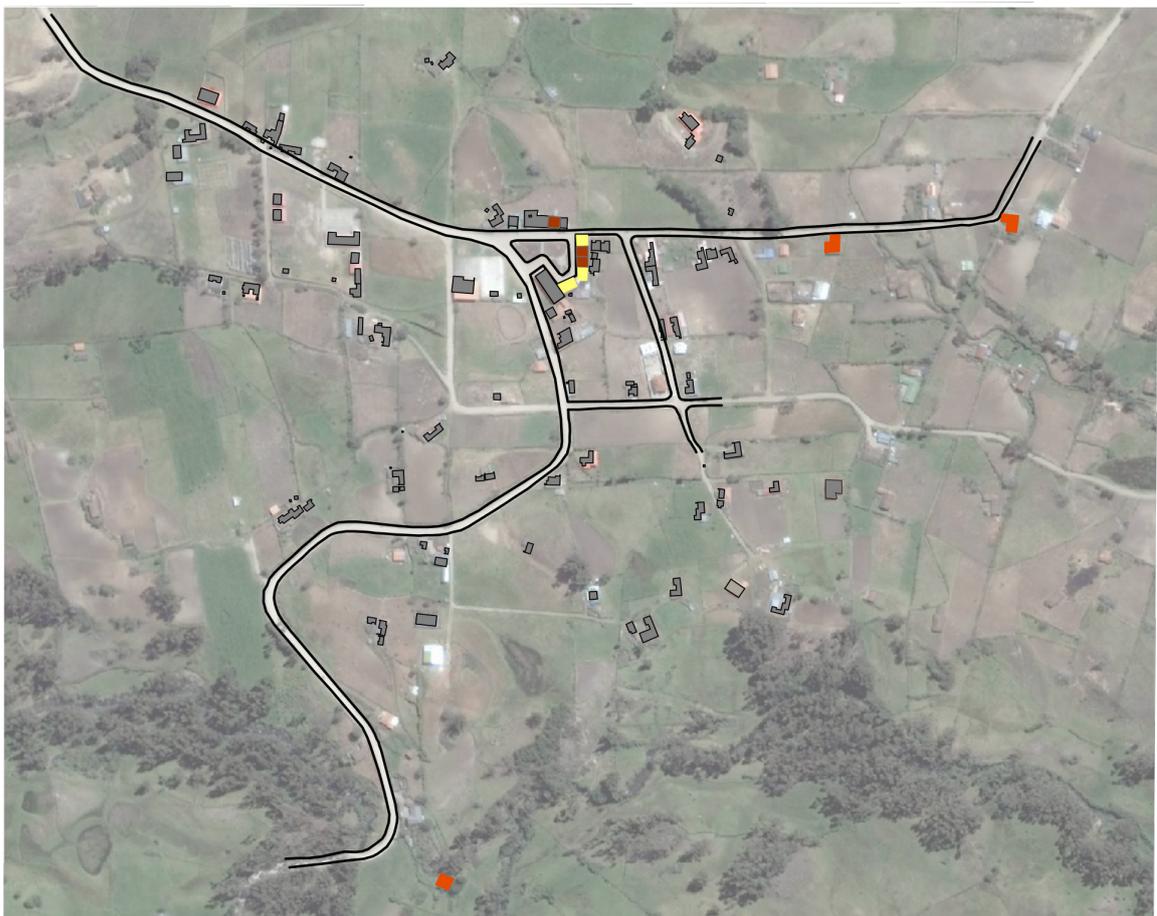
Según el diagnóstico realizado por el POT (2008), Charqui posee un grupo familiar

compuesto por 4 miembros para lo cual, según el análisis realizado en este estudio algunas edificaciones no cumple con las medidas mínimas de confort que satisfagan este numero de ocupantes; esto de alguna manera perjudica a la estructura de la edificación, ya que son espacios añadidos con nuevas prestaciones que generan sobrecarga estructural.

Las actividades que desarrollan sus miembros, tienen incidencia directa en el cuidado y mantenimiento de la vivienda, provocando el deterioro de los elementos que conforman la edificación.

2.2.1. Ubicación de los casos de estudio

En el sector no existen mayor número de ejemplares con características de adosamiento; se seleccionó tres viviendas por cada tipología, con el fin de analizar el comportamiento sísmico en estas condiciones específicas; conocer los daños comunes por cada tipología estudiada y buscar soluciones que respondan a las situaciones mencionadas.



SIMBOLOGÍA

- 2 Pisos aislada
- 2 Pisos adosada 1 lado
- 2 Pisos adosada 2 lados

FIGURA 2.2: Ubicación de edificaciones a ser analizadas
Elaboración: Henry León

2.2.2. Metodología de evaluación

La autoconstrucción sin fundamentos técnicos asociado a la pérdida de conocimiento constructivo tradicional es uno de los problemas más graves de las viviendas rurales, porque representa la omisión de elementos constructivos estructurales fundamentales en las edificaciones de adobe, (Fig. 2.3).



FIGURA 2.3: Vivienda rural de la comunidad de Charqui
Elaboración: Henry León

Se realizó la evaluación del estado constructivo de las viviendas de adobe con el fin de establecer los daños y generar recomendaciones constructivas que respondan adecuadamente ante fenómenos naturales, considerando como referente de estudio el documento técnico N° 32 Evaluación de daños y soluciones para construcciones en Tierra Cruda desarrollado por la Cámara chilena de la construcción (2012), en el cual se detallan en el ANEXO (1) la evaluación del estado general del inmueble, fichas para la evaluación de daños específicos y posibles soluciones.

Esquema de evaluación de daños

Se refiere al trabajo de campo en el que se recolecta información mediante el registro fotográfico y un formulario de evaluación general, en el que se incluye: identificación del inmueble, identificación de zona de riesgo, evaluación del emplazamiento, condiciones del inmueble, número de pisos, volumen, la infraestructura o estado actual, un resumen del informe, la información del evaluador, y por otra parte las fichas de evaluación de daños asociados únicamente a la parte estructural, como se detalla en el ANEXO (1).

Evaluación de daños estructurales

- **DA. HUMEDAD**
- **DB. ASENTAMIENTOS O DEFORMACIONES**
- **DC. FISURAS O GRIETAS**
- **DD. DESAPLONES O DESNIVELES**
- **DE. PÉRDIDA DE MATERIAL, DESMORONAMIENTO O COLAPSO**
- **DF. AGENTES BIÓTICOS**

La evaluación de las lesiones estructurales, recoge los efectos de todos los procesos patológicos que no se manifiestan a través de la degradación material de los elementos afectados, sino mediante la deformación global de la estructura que los sufre. Al deformarse, el edificio altera su sistema de distribución de cargas, generando esfuerzos de tracción, compresión y corte, fallando de forma progresiva hasta alcanzar el colapso ([Gomez, Mileto, Vegas, y García, 2016](#)).

Con la información obtenida en el formulario de cada vivienda, se procede a su procesamiento y se elabora una ficha resumen por cada inmueble y por cada tipología. Para las fichas de cada vivienda se identifican tres secciones, la primera correspondiente a los datos generales del inmueble como: propietario, ubicación y la tipología. La segunda parte corresponde a la identificación del tipo de daño en el muro y sus respectivas causas. Finalmente al esquema de daños en planta y las respectivas fotografías que indican el tipo de daño.

Las fichas resumen por tipología constan de tres secciones en las cuales se identifican en la primera parte la tipología analizada y las observaciones generales, en la segunda el tipo de lesiones patológicas y la cantidad total por tipología, y la tercera presenta las fotografías de las viviendas analizadas.

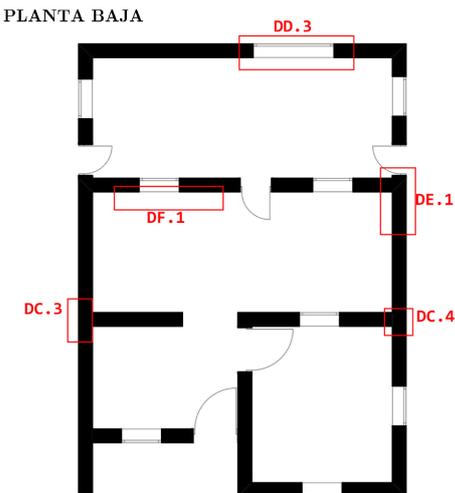
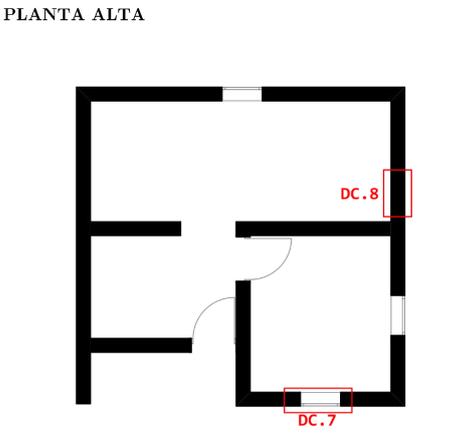
Se identifica el estado actual de los muros de las muestras seleccionadas, las lesiones patológicas estructurales y las causas de las mismas para posteriormente clasificarlas y generar un atlas de daños que será de utilidad en la elaboración de un documento que contenga detalles constructivos con recomendaciones técnicas constructivas que mejoren su resiliencia y el comportamiento ante un fenómeno sísmico.

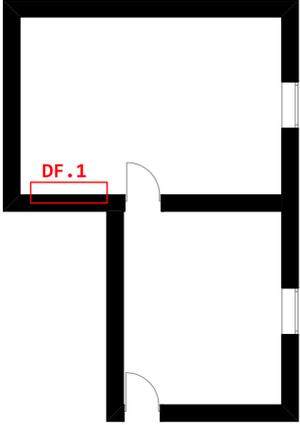
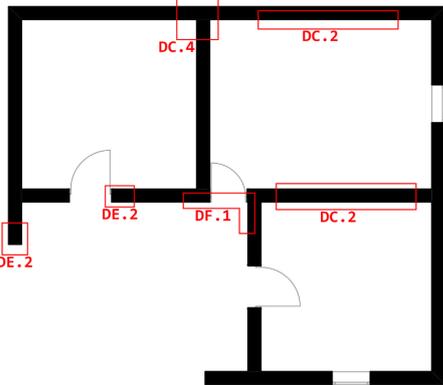
El atlas de daños se constituye en el resumen del trabajo, en donde se enumeran los daños, se establece definiciones y sus causas junto con un gráfico que representa el daño.

La información recolectada en el campo, del estado de los muros de adobe, servirá para la realización del análisis del comportamiento sísmico mediante un software, de los muros de adobe con refuerzo y sin refuerzo estructural, que permitan comparar los resultados para determinar alternativas de reparación de daños y sistemas de refuerzo estructural para garantizar la estabilidad de las viviendas.

2.2.3. Evaluación de los inmuebles seleccionados

Tipología 2 pisos aislada

FICHA RESUMEN DE DAÑOS EN LOS MUROS POR VIVIENDA			
01	PROPIETARIO	UBICACIÓN	TIPOLOGÍA
		Filia. León Ordoñez	Charqui - Nabón - Azuay
DAÑO		CAUSA	
DC.3 Fisura o grieta en muro o tabique		Deformación del muro por solicitaciones mecánicas	
DC.4 Fisura o grieta vertical en encuentro de muro o tabique		Deformación del muro por solicitaciones mecánicas, falta de amarre entre elementos.	
DC.7 Fisura o grieta debido a los vanos		Fractura o grieta generada por efecto de corte a partir de los vanos, apoyo de dinteles muy corto.	
DC.8 Grieta en la parte superior del muro debido a los anclajes		Se produce debido a la fuerza puntual que ejerce la estructura de la cubierta directamente sobre el muro.	
DD.3 Desnivel del dintel de puerta y/o ventana		Dintel muy débil y vano muy grande.	
DE.1 Desprendimiento o erosión del revoque		Revoque compuesto por materiales incompatibles y agentes externos (lluvia, sol, viento)	
DF.1 Animales en el muro tabique		Presencia de roedores por falta de mantenimiento, también puede ser causado por ausencia de sobrecimientos	
IDENTIFICACIÓN DEL DAÑO		FOTOGRAFÍAS DE LOS DAÑOS	
PLANTA BAJA 		DC.3 	DC.4 
		DC.7 	DC.8 
PLANTA ALTA 		DD.3 	DE.1 
		DF.1 	

02	FICHA RESUMEN DE DAÑOS EN LOS MUROS POR VIVIENDA		
	PROPIETARIO	UBICACIÓN	TIPOLOGÍA
	Sra. Zoila Tocto	Charqui – Nabón - Azuay	2 pisos aislada
DAÑO		CAUSA	
DC.2 Agrietamiento masivo del revoque		Producto de solicitaciones mecánicas, paso del tiempo, utilización de barro inadecuado o falta de mantenimiento.	
DC.4 Fisura o grieta vertical en encuentro de muro o tabique		Deformación del muro por solicitaciones mecánicas, falta de amarre entre elementos.	
DE.2 Desmoronamiento puntual en muro		Es producto de la presencia de una llave de agua junto al muro, asentamiento directo del muro sobre el suelo sin sobrecimiento.	
DF.1 Animales en el muro tabique		Presencia de roedores por falta de mantenimiento, también puede ser causado por ausencia de sobrecimientos	
IDENTIFICACIÓN DEL DAÑO		FOTOGRAFÍAS DE LOS DAÑOS	
PLANTA BAJA 		DC.2 	DC.2 
		DC.4 	
PLANTA ALTA 		DE.2 	DE.2 
		DF.1 	

03	FICHA RESUMEN DE DAÑOS EN LOS MUROS POR VIVIENDA		
	PROPIETARIO	UBICACIÓN	TIPOLOGÍA
	Filia. Tocto Laguna	Charqui – Nabón - Azuay	2 pisos aislada
DAÑO		CAUSA	
DC.2 Agrietamiento masivo del revoque		Producto de solicitaciones mecánicas, paso del tiempo, utilización de barro inadecuado o falta de mantenimiento.	
DC.8 Grieta en la parte superior del muro debido a los anclajes		Se produce debido a la fuerza puntual que ejerce la estructura de la cubierta directamente sobre el muro.	
DC.9 Grietas en el tímpano		Se produce por sobrecarga estructural de la cubierta, por falta de amarre de los muros o por solicitaciones mecánicas.	
DD.1 Desaplome del muro		Se produce por efecto de solicitaciones mecánicas que deforman el muro sin que recupere su posición original, además del peso propio del muro y de la techumbre.	
DF.1 Animales en el muro tabique		Presencia de roedores por falta de mantenimiento, también puede ser causado por ausencia de sobrecimientos	
IDENTIFICACIÓN DEL DAÑO		FOTOGRAFÍAS DE LOS DAÑOS	
PLANTA BAJA 			
PLANTA ALTA 			

01	FICHA RESUMEN DE DAÑOS EN LOS MUROS POR TIPOLOGÍA	
	TIPOLOGÍA	2 PISOS AISLADA
OBSERVACIONES GENERALES		
<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de viga collar • Apoyos de dinteles muy cortos • Aleros de cubierta muy cortos • Apoyo de cubierta directamente sobre los muros • Ausencia de revoque 		
TIPO DE DAÑO		CANTIDAD
DA. HUMEDAD		
DA.1. Humedad en la parte inferior del muro o tabique		
DA.2. Humedad en zonas puntuales del muro o tabique		
DA.3. Humedad en la parte superior del muro o tabique		
DB. ASENTAMIENTOS O DEFORMACIONES		
DB.1. Asentamiento de cimiento y/o sobrecimiento		
DB.2. Deformación de la parte inferior del muro		
DC. FISURAS O GRIETAS		
DC.1. Fisura o grieta en la parte inferior del muro		
DC.2. Agrietamiento masivo del revoque		3
DC.3. Fisuras o grietas en muro o tabique		1
DC.4. Fisura o grieta vertical en encuentro de muro o tabique		2
DC.5. Fisura o grieta vertical en equina de muros		
DC.6. Fisuras o grietas originadas en esquina de muros o en forma de x		
DC.7. Fisura o grieta originada a partir de los vanos		1
DC.8. Fisura o grieta en la parte superior del muro debido a los anclajes		2
DC.9. Grietas en el tímpano		1
DD. DESAPLONES O DESNIVELES		
DD.1. Desaplome de muro		1
DD.2. Desaplome de tabique		
DD.3. Desnivel del dintel de puerta y/o ventana		1
DE. PÉRDIDA DE MATERIAL, DESMORONAMIENTO O COLAPSO		
DE.1. Desprendimiento o erosión del revoque		1
DE.2. Desmoronamiento puntual en el muro		1
DE.3. Desmoronamiento puntual en el tabique		
DE.4. Desmoronamiento de esquina		
DE.5. Desmoronamiento del muro		
DE.6. Desmoronamiento del tímpano		
DF. AGENTES BIÓTICOS		
DF.1. Animales en el muro o tabique		3
FOTOGRAFÍAS DE VIVIENDAS DE 2 PISOS AISLADAS		
		

Las lesiones que se presentan con más frecuencia en esta tipología de vivienda son: agrietamiento masivo del revoque, producto de sollicitaciones mecánicas, paso del tiempo, utilización de barro inadecuado o la carencia de mantenimiento de los habitantes, también es frecuente la presencia de animales en los muros como roedores o aves, por otra parte aunque en menor número están las lesiones más graves, ya que afectan directamente a la estabilidad estructural del muro, como las fisuras o grietas verticales en encuentro de muro o tabique causadas principalmente por sollicitaciones mecánicas o por falta de amarre entre elementos (Fig. 2.4).

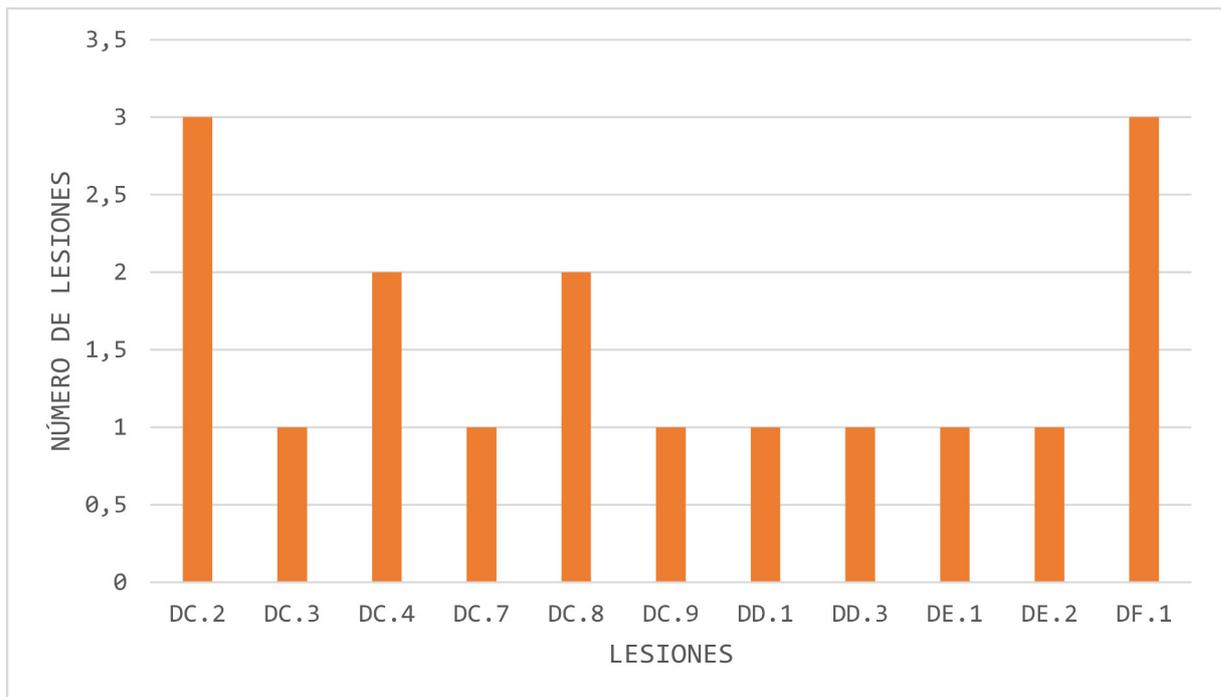
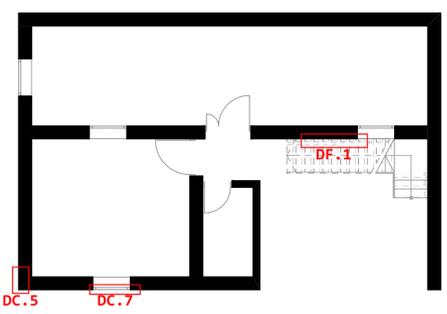
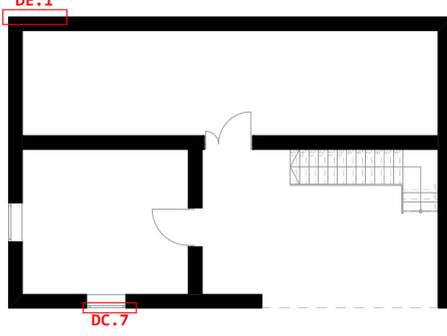


FIGURA 2.4: Lesiones en muros de adobe en vivienda de dos pisos aislada
Elaboración: Henry León

Tipología: 2 pisos adosada a un lado

01	FICHA RESUMEN DE DAÑOS EN LOS MUROS POR VIVIENDA		
	PROPIETARIO	UBICACIÓN	TIPOLOGÍA
	Sra. Fanny León	Charqui – Nabón - Azuay	2 pisos adosada 1 lado
DAÑO		CAUSA	
DC.5 Fisura o grieta vertical en esquina de muros		Falta de amarre de la estructura, ausencia de sobrecimiento o cadena perimetral, al someterse a solicitaciones mecánicas se fisuran los muros.	
DC.7 Fisura o grieta debido a los vanos		Se produce por efecto de corte a partir de los vanos por mal diseño (muy grandes).	
DE.1 Desprendimiento o erosión del revoque		Revoque compuesto por materiales incompatibles, exposición directa a los agentes externos (lluvia, sol, viento)	
DF:1 Animales en el muro o tabique		Presencia de roedores por falta de mantenimiento, también puede ser causado por ausencia de sobrecimientos	
IDENTIFICACIÓN DEL DAÑO		FOTOGRAFÍAS DE LOS DAÑOS	
PLANTA BAJA 		DC.5 	DC.7 
		DF.1 	
PLANTA ALTA 		DE.1 	

02	FICHA RESUMEN DE DAÑOS EN LOS MUROS POR VIVIENDA		
	PROPIETARIO	UBICACIÓN	TIPOLOGÍA
	Convento San José	Charqui – Nabón - Azuay	2 pisos Adosada 1 lado
DAÑO		CAUSA	
DA.3 Humedad en la parte superior de muro o tabique		Humedad en la parte superior del muro debido al mal estado de la cubierta	
DC.4 Fisura o grieta vertical en encuentro de muro o tabique		Deformación del muro por solicitaciones mecánicas, falta de amarre entre elementos.	
DB.2 Deformación en la parte inferior del muro		Se produce debido a la humedad generada en zonas que existe contacto con el agua, en este caso le balcón que genera humedad en la parte inferior del muro.	
DC.7 Fisura o grieta debido a los vanos		Causado por un dintel muy débil a la distancia de apoyo es muy corta, por incompatibilidad de materiales, o por el tamaño del vano (muy grande)	
DE.1 Desprendimiento o erosión del revoque		Revoque compuesto por materiales incompatibles y agentes externos (lluvia, sol, viento)	
DE.2 Desmoronamiento puntual en muro		Es producto de la presencia de una llave de agua junto al muro, asentamiento directo del muro sobre el suelo sin sobrecimiento.	
IDENTIFICACIÓN DEL DAÑO		FOTOGRAFÍAS DE LOS DAÑOS	
PLANTA BAJA 		DA.3 	DC.4
		DB.2 	DC.8
PLANTA ALTA 		DE.1 	DE.2

02	FICHA RESUMEN DE DAÑOS EN LOS MUROS POR TIPOLOGÍA	
TIPOLOGÍA	2 PISOS ADOSADA 1 LADO	
OBSERVACIONES GENERALES		
<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de viga collar • Apoyos de dinteles muy cortos • Aleros de cubierta muy cortos • Apoyo de cubierta directamente sobre los muros 		
TIPO DE DAÑO	CANTIDAD	
DA. HUMEDAD		
DA.1. Humedad en la parte inferior del muro o tabique		
DA.2. Humedad en zonas puntuales del muro o tabique		
DA.3. Humedad en la parte superior del muro o tabique	1	
DB. ASENTAMIENTOS O DEFORMACIONES		
DB.1. Asentamiento de cimiento y/o sobrecimiento		
DB.2. Deformación de la parte inferior del muro	1	
DC. FISURAS O GRIETAS		
DC.1. Fisura o grieta en la parte inferior del muro		
DC.2. Agrietamiento masivo del revoque		
DC.3. Fisuras o grietas en muro o tabique		
DC.4. Fisura o grieta vertical en encuentro de muro o tabique	1	
DC.5. Fisura o grieta vertical en equina de muros	1	
DC.6. Fisuras o grietas originadas en esquina de muros o en forma de x		
DC.7. Fisura o grieta originada a partir de los vanos	2	
DC.8. Agrietamiento del dintel		
DC.9. Fisura o grieta en la parte superior del muro debido a los anclajes		
DC.10. Grietas en el tímpano		
DD. DESAPLOMES O DESNIVELES		
DD.1. Desaplome de muro		
DD.2. Desaplome de tabique		
DD.3. Desnivel del dintel de puerta y/o ventana		
DE. PÉRDIDA DE MATERIAL, DESMORONAMIENTO O COLAPSO		
DE.1. Desprendimiento o erosión del revoque	2	
DE.2. Desmoronamiento puntual en el muro	1	
DE.3. Desmoronamiento puntual en el tabique		
DE.4. Desmoronamiento de esquina		
DE.5. Desmoronamiento del muro		
DE.6. Desmoronamiento del tímpano		
DF. AGENTES BIÓTICOS		
DF.1. Animales en el muro o tabique	1	
FOTOGRAFÍAS DE VIVIENDAS DE 2 PISOS ADOSADA 1 LADO		
		

El análisis realizado a esta tipología de edificaciones dio como resultado que las lesiones que se presentan con mayor frecuencia son aquellas que se originan a partir de los vanos en el muro y el desprendimiento o erosión del revoque causado principalmente por la exposición directa de los muros a los agentes atmosféricos (sol, viento, lluvia) o por la mala calidad del material de revoque. En esta tipología también se presentan lesiones de gravedad como en el caso de las viviendas aisladas, las fisuras o grietas en el encuentro de muros o tabiques, o en las esquinas de los muros debido principalmente a la falta de amarre de los elementos, es decir la ausencia de una viga collar en las dos edificaciones analizadas, también esta presente el desmoronamiento puntual del muro ocasionado principalmente por la humedad.

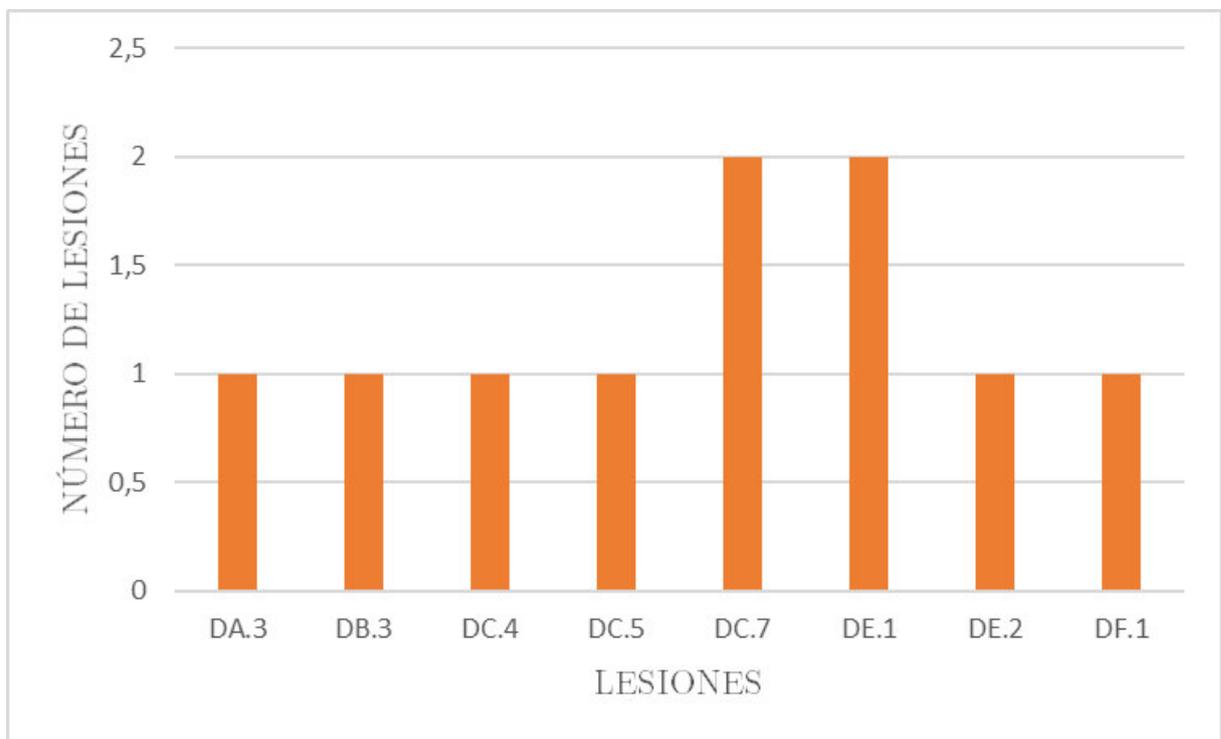
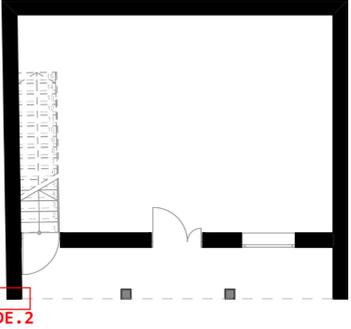
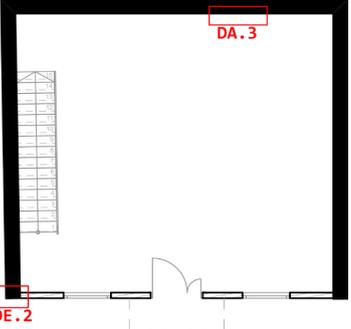


FIGURA 2.5: Lesiones en muros de adobe en vivienda de dos pisos adosada a un lado
Elaboración: Henry León

Tipología: 2 pisos adosada a dos lados

01	FICHA RESUMEN DE DAÑOS EN LOS MUROS POR VIVIENDA		
	PROPIETARIO	UBICACIÓN	TIPOLOGÍA
	Filia. Paredes Ochoa	Charqui - Nabón - Azuay	2 pisos Adosada a dos lados
DAÑO		CAUSA	
DA.1 Humedad en la parte inferior del muro o tabique		Ausencia de drenaje perimetral que proteja la vivienda de la humedad	
DA.3 Humedad en la parte superior del muro o tabique		Filtraciones provenientes de la cubierta (tejas rotas, falta de sello hídrico).	
DB.2 Deformación en la parte inferior del muro.		Filtraciones provenientes de la cubierta (tejas rotas, falta de sello hídrico).	
DC.2 Agrietamiento masivo del revoque		Producto de solicitaciones mecánicas, paso del tiempo, utilización de barro inadecuado o falta de mantenimiento.	
DE.1 Desprendimiento o erosión del revoque		Revoque compuesto por materiales incompatibles y agentes externos (lluvia, sol, viento)	
DE.2 Desmoronamiento puntual en muro		Humedad en la parte inferior del muro y la presencia de vegetación y musgos	
IDENTIFICACIÓN DEL DAÑO		FOTOGRAFÍAS DE LOS DAÑOS	
<p>PLANTA BAJA</p> <p>The diagram shows a rectangular ground floor layout. Red lines and labels indicate damage locations: DA.1 and DB.2 are marked along the top wall, and DE.2 is marked along the right wall.</p>		<p>DA.1</p> <p>DA.3</p> <p>DB.2</p> <p>DE.2</p>	
<p>PLANTA ALTA</p> <p>The diagram shows a rectangular upper floor layout. Red lines and labels indicate damage locations: DE.1 and DA.3 are marked along the top wall, and DC.2 is marked along the right wall.</p>		<p>DC.2</p> <p>DE.1</p>	

FICHA RESUMEN DE DAÑOS EN LOS MUROS POR VIVIENDA			
02	PROPIETARIO	UBICACIÓN	TIPOLOGÍA
	Sra. Elsa Ubaldina Ochoa	Charqui - Nabón - Azuay	2 pisos adosada a dos lados
DAÑO		CAUSA	
DA.3 Humedad en la parte superior del muro o tabique		Filtraciones provenientes de la cubierta (tejas rotas, falta de sello hídrico).	
DB.2 Deformación en la parte inferior del muro		Falta de zócalo de protección, contacto directo del suelo con el muro	
DC.2 Agrietamiento masivo del revoque		Producto de sollicitaciones mecánicas, paso del tiempo, utilización de barro inadecuado o falta de mantenimiento	
DE.2 Desmoronamiento puntual del muro		Mala adherencia del material (ladrillo - adobe) humedad por aleros muy cortos provocando que la lluvia le afecte directamente.	
IDENTIFICACIÓN DEL DAÑO		FOTOGRAFÍAS DE LOS DAÑOS	
<p>PLANTA BAJA</p>			
<p>PLANTA ALTA</p>			

03 FICHA RESUMEN DE DAÑOS EN LOS MUROS POR VIVIENDA			
PROPIETARIO		UBICACIÓN	TIPOLOGÍA
Sra.Ruth Castro Alvares		Charqui - Nabón - Azuay	2 pisos adosada a dos lados
DAÑO		CAUSA	
DA.3 Humedad en la parte superior del muro o tabique		Filtraciones provenientes de la cubierta (tejas rotas, falta de sello hídrico).	
DE.2 Desmoronamiento puntual del muro		Aleros muy cortos provocando humedad ya que la lluvia afecta directamente al muro.	
IDENTIFICACIÓN DEL DAÑO		FOTOGRAFÍAS DE LOS DAÑOS	
PLANTA BAJA 		DE.2 	
PLANTA ALTA 		DA.3 	

03	FICHA RESUMEN DE DAÑOS EN LOS MUROS POR TIPOLOGÍA	
	TIPOLOGÍA	2 PISOS ADOSADA 2 LADOS
OBSERVACIONES GENERALES		
<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de viga collar • Apoyos de dinteles muy cortos • Aleros de cubierta muy cortos • Apoyo de cubierta directamente sobre los muros 		
TIPO DE DAÑO		CANTIDAD
DA. HUMEDAD		
DA.1. Humedad en la parte inferior del muro o tabique		1
DA.2. Humedad en zonas puntuales del muro o tabique		
DA.3. Humedad en la parte superior del muro o tabique		3
DB. ASENTAMIENTOS O DEFORMACIONES		
DB.1. Asentamiento de cimiento y/o sobrecimiento		
DB.2. Deformación de la parte inferior del muro		2
DC. FISURAS O GRIETAS		
DC.1. Fisura o grieta en la parte inferior del muro		
DC.2. Agrietamiento masivo del revoque		2
DC.3. Fisuras o grietas en muro o tabique		
DC.4. Fisura o grieta vertical en encuentro de muro o tabique		
DC.5. Fisura o grieta vertical en esquina de muros		
DC.6. Fisuras o grietas originadas en esquina de muros o en forma de x		
DC.7. Fisura o grieta originada a partir de los vanos		
DC.8. Fisura o grieta en la parte superior del muro debido a los anclajes		
DC.9. Grietas en el tímpano		
DD. DESAPLONES O DESNIVELES		
DD.1. Desaplome de muro		
DD.2. Desaplome de tabique		
DD.3. Desnivel del dintel de puerta y/o ventana		
DE. PÉRDIDA DE MATERIAL, DESMORONAMIENTO O COLAPSO		
DE.1. Desprendimiento o erosión del revoque		1
DE.2. Desmoronamiento puntual en el muro		3
DE.3. Desmoronamiento puntual en el tabique		
DE.4. Desmoronamiento de esquina		
DE.5. Desmoronamiento del muro		
DE.6. Desmoronamiento del tímpano		
DF. AGENTES BIÓTICOS		
DF.1. Animales en el muro o tabique		
FOTOGRAFÍAS DE VIVIENDAS DE 2 PISOS DOSADA 2 LADOS		

Como se observa en la (Fig: 2.6), esta tipología analizada es la que presenta menor número de lesiones en comparación a las antes detalladas, las identificadas afectan directamente la estructura de los muros, siendo más frecuentes la humedad en la zona superior del muro o tabique, causado principalmente por el mal estado de la cubierta, lo que provoca filtraciones hacia el muro, también se encuentra presente en todas las viviendas el desmoronamiento puntual del muro, esto ocurre por que los muros se encuentran expuestos a los agentes atmosféricos directamente, o por la presencia de humedad en los mismos, causante también de la deformación de la parte inferior de los muros, otra lesión común es el agrietamiento masivo del revoque que está presente en la mayoría de edificaciones.

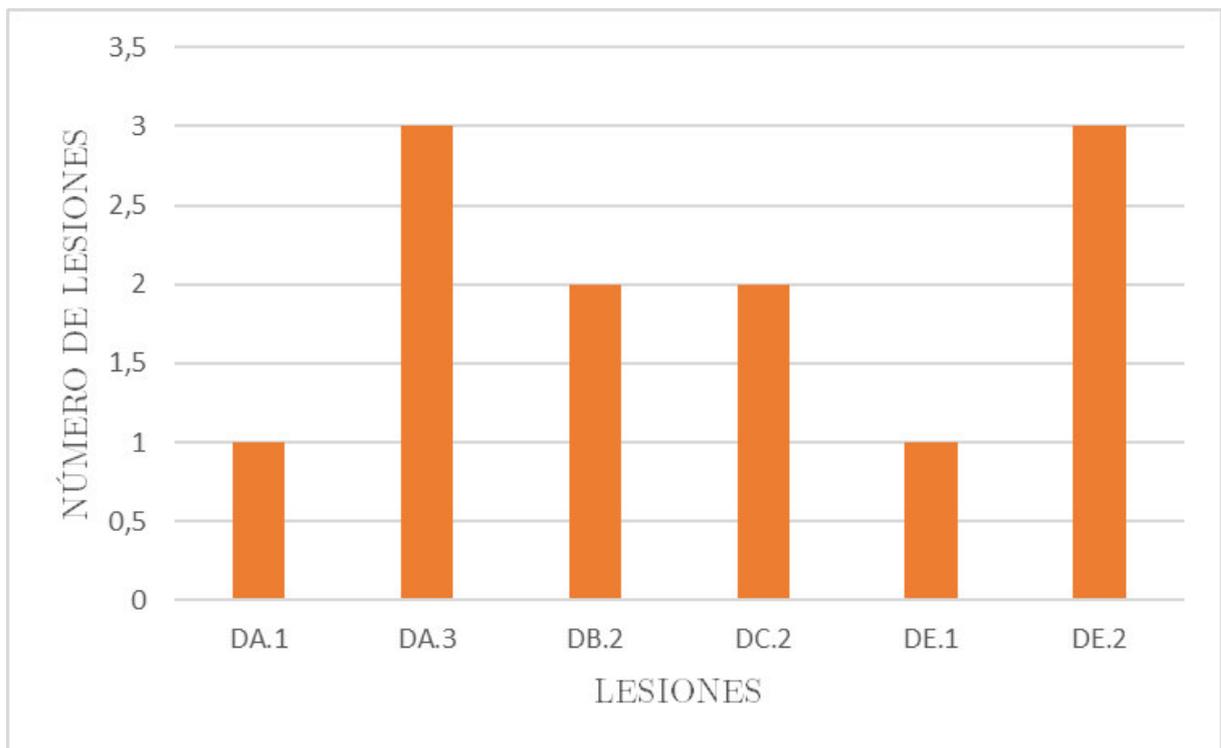


FIGURA 2.6: Lesiones en muros de adobe en vivienda de dos pisos adosada a dos lados
Elaboración: Henry León

Lesiones comunes en muros de adobe

Las lesiones frecuentes que se han encontrado luego de la evaluación a las edificaciones seleccionadas en la comunidad de Charqui son:

- DA.3. Humedad en la parte superior del muro o tabique
- DC.2. Agrietamiento masivo del revoque
- DC.4. Fisura o grieta vertical en encuentro de muro o tabique
- DC.7. Fisura o grieta originada a partir de los vanos

- DE.1. Desprendimiento o erosión del revoque
- DE.2. Desmoronamiento puntual en el muro
- DF.1. Animales en el muro o tabique

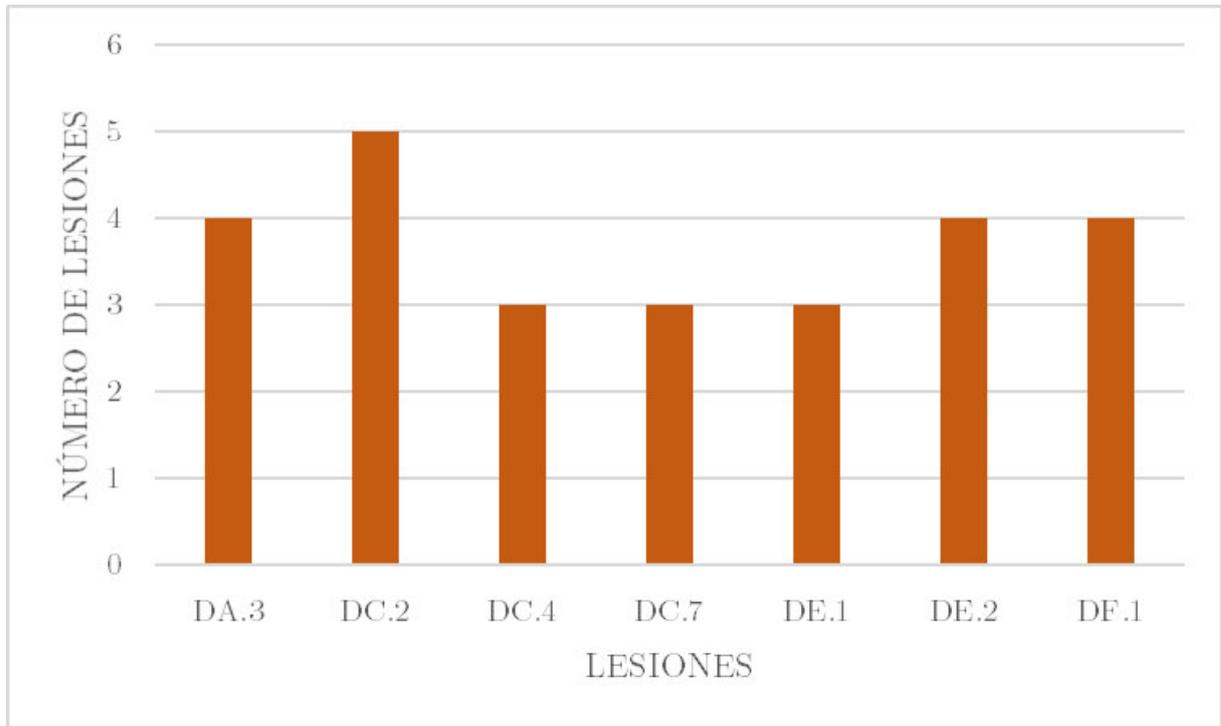


FIGURA 2.7: Lesiones comunes en los muros de adobe
Elaboración Henry León

Las lesiones en la cubierta como tejas rotas, desvinculación de sus piezas o dimensiones muy cortas de aleros ($< 1\text{m}$), generan filtraciones que arrastran sales solubles provocando la aparición de eflorescencias y criptoeflorescencias en la parte superior de los muros, inicialmente el agua que ingresa afecta a los acabados del muros, sin embargo si el problema es constante puede recurrir en lesiones mas graves como el lavado de la tierra de la mampostería provocando el debilitamiento de la estructura del muro.

La humedad en la parte inferior de los muros de adobe es causada por el emplazamiento en lugares con niveles freáticos superficiales, o debido a las lluvias, producen el ascenso por capilaridad hacia la masa del muro, incrementando su contenido de humedad y haciendo que el adobe se degrade progresivamente al modificar sus condiciones higrométricas, lo cual se evidencia por aparición de manchas de humedad, reblandeciendo la masa del adobe, e incluso provocando la desintegración de la mampostería, poniendo en riesgo el equilibrio del muro, estas lesiones ocurren generalmente cuando la vivienda carece de un drenaje perimetral que evacue el agua hacia afuera de la vivienda, las dimensiones del alero menores a 1m provoca el impacto directo de la lluvia en el muro, la ausencia de un

zócalo de protección y un sobrecimiento que impida el contacto directo del muro con el suelo.

Agrietamiento masivo del revoque se evidencia en el 50 % de las viviendas analizadas, producto de sollicitaciones mecánicas, acción erosiva del viento, la escorrentía del agua de lluvia por la superficie que se produce cuando la medida del alero no es lo suficiente para impedir que la lluvia o el agua de la cubierta agredan la superficie del muro. El agua que recibe, asociado a la utilización de barro inadecuado en el revoque, compuesto por gran cantidad de arcilla que al secarse se retrae generando fisuramiento, o a su vez exceso de arena en la mezcla produce disgregación del revoque, y la falta de cuidado de las personas que la habitan, genera los mecanismos de degradación, hasta llegar incluso lesionar la mampostería.

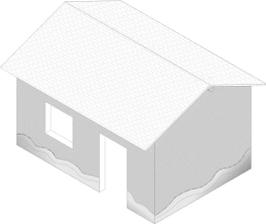
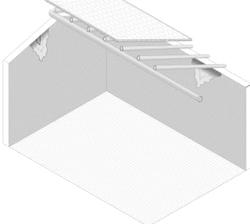
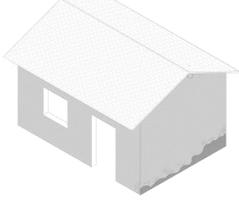
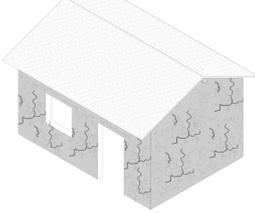
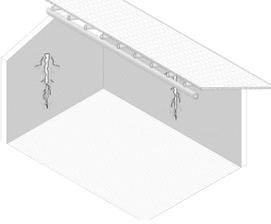
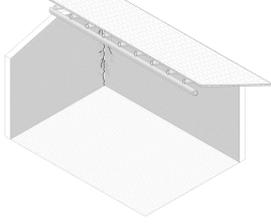
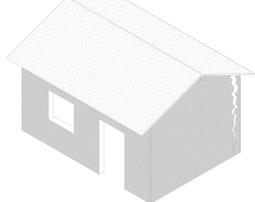
Aunque en menor número, están las lesiones más graves, ya que afectan directamente a la estabilidad estructural del muro, como las fisuras o grietas verticales en encuentro de muro o tabique causadas principalmente por sollicitaciones mecánicas; las vibraciones y fuerzas que genera un sismo origina esfuerzos de tracción para los cuales la mampostería de adobe tiene respuestas negativas, esto asociado a la falta de amarre entre elementos de la estructura, la mala calidad del adobe; barro con alto contenido de arcilla o a su vez exceso de arena ocasionan el agrietamiento de la mampostería.

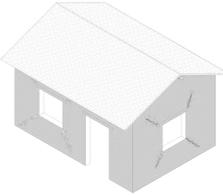
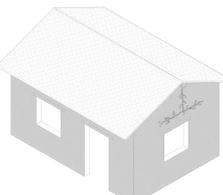
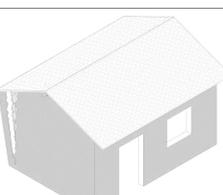
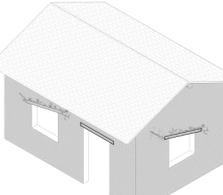
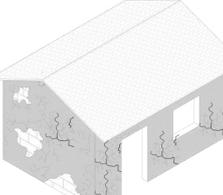
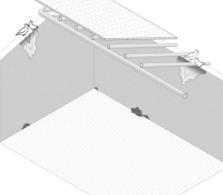
La falta de amarre entre elementos es un problema encontrado en todas las edificaciones estudiadas, la ausencia de una viga collar que amarre los elementos que conforman la estructura y que distribuya las cargas, es probablemente uno de los factores mas influyentes en las lesiones estructurales de las edificaciones, pues, estructura de entrepiso y cubierta se asientan directamente sobre la mampostería ejerciendo cargas puntuales, apareciendo fisuras verticales en los apoyos o provocando asentamientos del muro, y al ser construcciones de dos pisos el riesgo es más elevado por el peso que implica en la estructura (Gomez et al., 2016).

Las dimensiones y distribución irregular de los vanos es otro de los factores que debilita a los muros de adobe ya que altera la transmisión de cargas de su estructura, produciendo esfuerzos de flexión en la parte superior de puertas y ventanas. A pesar que en las viviendas analizadas las dimensiones de los vanos no son excesivas y su distribución es regular, el 38 % de las edificaciones presentan problemas en los dinteles, ya que los apoyos en los muros son muy cortos, lo que genera fisuras diagonales debido a las tensiones que provoca.

La presencia de animales en los muros es otro de los agentes frecuentes que generan lesiones en la estructura del 50 % de las viviendas analizadas. Con el fin de conformar sus madrigueras los roedores realizan perforaciones, generalmente en la base de los muros debilitando la estructura. A pesar que no realizan perforaciones, la presencia continua de aves es un factor que perjudica la estabilidad de los muros, los desechos que producen sobrecargan la estructura e incrementan la humedad en zonas puntuales y generan alteraciones en la mampostería como consecuencia de la acidez de sus excrementos (Gomez et al., 2016).

2.3. Atlas de daños

DAÑO	DESCRIPCIÓN	CAUSA	GRÁFICO
DA.1 Humedad en la parte inferior del muro o tabique	Corresponde a la presencia de agua impregnada en la zona inferior de los muros debido a la ascensión por capilaridad, se puede evidenciar manchas de humedad en la zona inferior del muro, o palpando zonas reblandecidas.	Humedad causada por las lluvias, suele aparecer en muros que se encuentran en contacto directo con el suelo, por la ausencia de sobrecimientos o aleros muy cortos.	
DA.3 Humedad en la parte superior del muro o tabique	Corresponde a la presencia de humedad en la parte superior del muro o tabique	Se debe principalmente al mal estado de la cubierta (tejas rotas o desprendidas) que provoca filtraciones de agua hacia los muros.	
DB.2 Deformación de la parte inferior del muro	Se refiere a la pérdida de la forma original del muro en su parte inferior con la alteración de la apariencia y sus características físicas, provocando agrietamientos y pérdida del material.	Se produce por la humedad generada en lugares donde existe contacto directo del suelo con el muro, causado por la falta de sobrecimiento y drenajes.	
DC.2 Arietamiento masivo del revoque	Corresponde a la trizadura generalizada del material de recubrimiento del muro o tabique.	Producto de solicitaciones mecánicas, paso del tiempo, utilización de barro inadecuado o falta de mantenimiento	
DC.3 Fisuras o grietas en muro o tabique	Corresponde a quiebres del material de tierra que compone el muro, los que en algunos casos traspasan el revoque.	Deformación del muro por solicitaciones mecánicas	
DC.4 Fisura o grieta vertical en encuentro de muro o tabique	Fractura producida en la esquina en la que se encuentran dos muros, se puede observar una desvinculación de la traba de la albañilería.	Se produce por la deformación del muro debido a solicitaciones mecánicas y la falta de amarre entre elementos.	
DC.5 Fisura o grieta vertical en esquina de muros	Fractura producida en la esquina en la que se encuentran dos muros; un muro con un tabique; o bien dos tabiques.	Se produce por la falta de amarre entre los elementos afectados, lo que ocasiona el choque entre muros ante solicitaciones mecánicas, como podría ser la diferencia de rigidez entre dos sistemas constructivos.	

<p>DC.7 Fisura o grieta originada a partir de los vanos</p>	<p>Grieta generada en las esquinas superior o inferior de los vanos, por lo general en forma diagonal.</p>	<p>Este tipo de grieta o fisura puede ser causada por un mal diseño del vano, o de una inadecuada disposición de este en relación con otros elementos.</p>	
<p>DC.8 Fisura o grieta en la parte superior del muro debido a los anclajes</p>	<p>Hendiduras verticales originadas en la parte superior del muro, en el encuentro entre éste y las piezas que conforman la estructura de la techumbre o vigas de entrepiso.</p>	<p>Se produce ante la fuerza que ejerce el peso de la estructura del techo o la losa de entrepiso que se asienta directamente sobre el muro al no existir una viga corona que distribuya los esfuerzos.</p>	
<p>DC.9 Grietas en el tímpano</p>	<p>Corresponde a la rotura del tímpano que se levanta sobre los muros para completar la mampostería con los techos de dos aguas.</p>	<p>Generalmente se produce por la falta de amarre entre elementos, o por una sobrecarga estructural de la cubierta provocando la rotura ante sollicitaciones mecánicas.</p>	
<p>DD.1 Desaplome de muro</p>	<p>Se refiere a la pérdida de la verticalidad de un muro provocando una inclinación asociada a la desvinculación del resto de la edificación.</p>	<p>Se produce por efecto de sollicitaciones mecánicas que deforman el muro sin que recupere su posición original, otra causa puede ser el peso propio del muro y de la techumbre.</p>	
<p>DD.3 Desnivel del dintel de puerta y/o ventana</p>	<p>Corresponde a la pérdida de la forma original del vano, lo que genera el descuadre del marco con respecto a la puerta o ventana.</p>	<p>Apoyo del dintel muy corto, muy débil y vano de grandes dimensiones, que no cumple con las recomendaciones establecidas en relación con el muro ($L=1/3$ del muro)</p>	
<p>DE.1 Desprendimiento o erosión del revoque</p>	<p>Corresponde al desprendimiento de una porción del revoque, donde se observan partes del muro desnudo y partes de material en el suelo</p>	<p>Es resultado de la falta de adherencia causado por la mala elaboración del barro para el revoque, falta de mantenimiento, humedad o agresiones ambientales.</p>	
<p>DE.2 Desmoronamiento puntual en el muro</p>	<p>Desprendimiento de material de mampostería en un área específica y delimitada del muro producto de una lesión, en algunos casos la perforación total.</p>	<p>Generalmente producto de humedad excesiva debido a la exposición del muro a la lluvia, o la mala calidad del adobe.</p>	
<p>DF.1 Animales en el muro o tabique</p>	<p>Se refiere a la presencia de animales como aves, roedores entre otros en el muro o en la estructura de la cubierta.</p>	<p>Las necesidades biológicas generan problemas puntuales dentro de la edificación, las aves picotean los muros y anidan en ellos sus excrementos producen reacciones químicas perjudiciales y sobrecargan la estructura.</p>	

Construcciones en adobe sismo resistentes

3.1. Recomendaciones para viviendas de adobe sismo resistente

3.1.1. Emplazamiento en pendiente

La elección del sitio correcto donde se emplazará la edificación es el primer paso para que una vivienda cumpla con los parámetros de sismo resistencia, para ello Minke (2001) hace algunas recomendaciones:

- La edificación no debe emplazarse cercana a taludes, debido a que en un sismo los impactos horizontales de la tierra pueden afectar al muro y provocar su colapso Fig. 3.1 (a).
- No implantar la vivienda en pendientes pronunciadas ya que puede ocurrir deslizamientos del terreno y afectar a la edificación Fig. 3.1 (b) (c).
- Si la vivienda debe ser emplazada en terreno con pendiente, deberá crearse una plataforma lo suficientemente grande para que la edificación tenga retiro suficiente hacia los taludes Fig. 3.1 (d).

3.1.2. Forma de la planta

La morfología de la planta debe mantener proporcionalidad y evitar formas irregulares para que el edificio tenga estabilidad, así, Minke (2001) demuestra mediante un ensayo, en el cual en un péndulo de 5,5 m de longitud se deja caer un peso de 40 kg que golpea los tres tipos de edificio, que una planta de forma cuadrada tiene ventaja sobre una rectangular, y la circular responde de manera ideal ante un sismo.

Por otra parte si es necesario adicionar espacios, se recomienda que sean individuales, esto garantiza un mejor funcionamiento de la estructura en un sismo Fig. 3.2

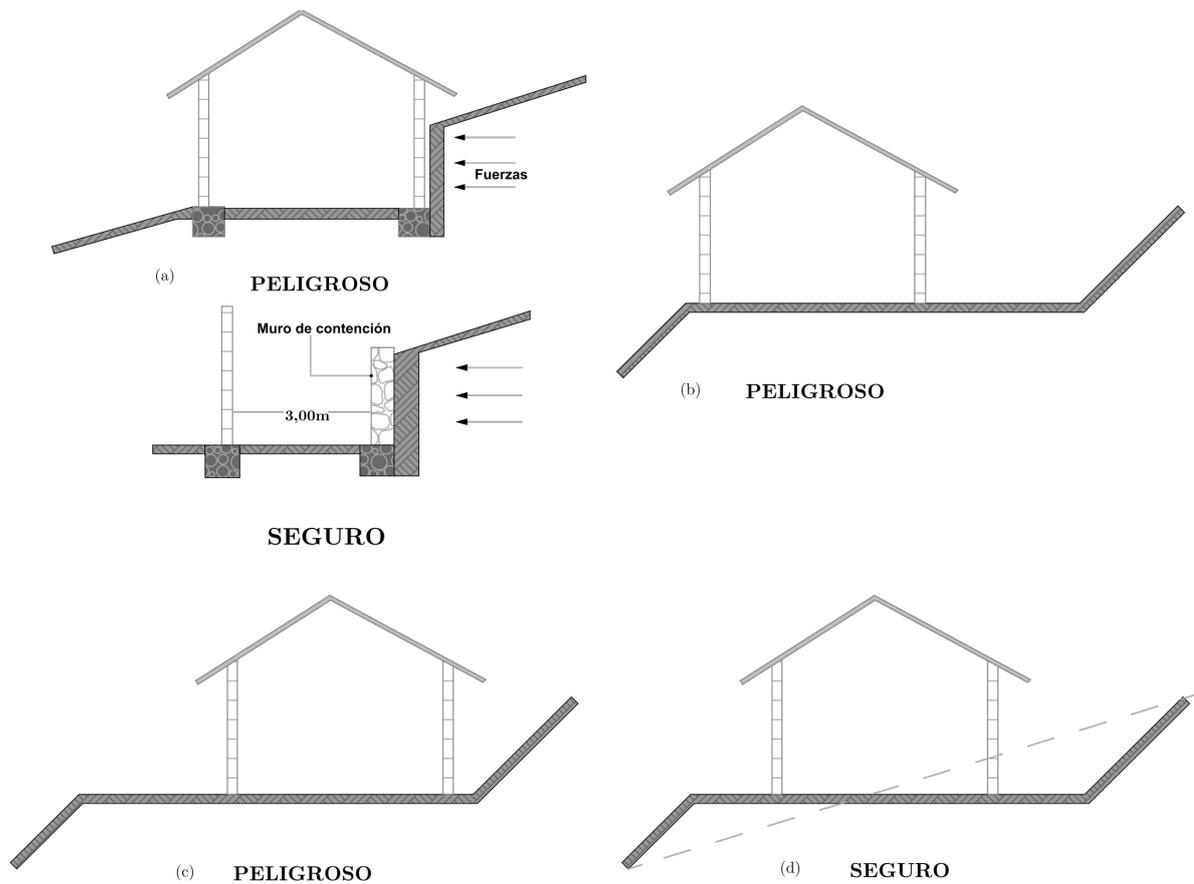


FIGURA 3.1: Emplazamiento de una vivienda de adobe sismoresistente
Elaboración: Henry León

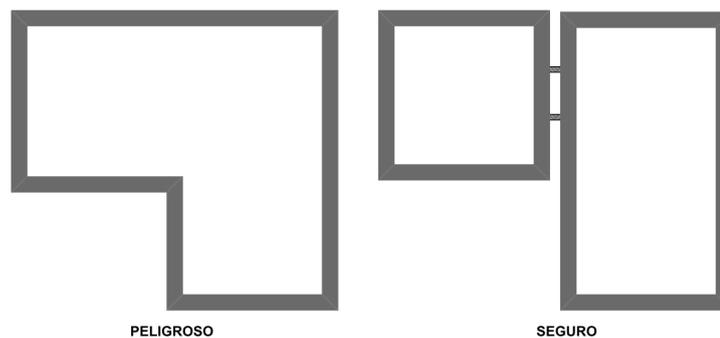


FIGURA 3.2: Estructura en planta de la vivienda de adobe
Fuente: Minke 2005 Elaboración: Henry León

La distribución y dimensionamiento de los vanos o aberturas es otro factor que influye de manera directa en el comportamiento sísmico de los muros de adobe pues es uno de los principales errores que provocan el riesgo de fallas en la mampostería de adobe. Blondet, Vargas, y Tarque (2015) recomiendan para que una casa sea sismoresistente los muros deben asentarse sobre un sobrecimiento de mínimo 0.30m de altura que le proteja de la

humedad del suelo, así mismo el espesor de los muros debe ser 0.40m como mínimo y deben estar trabados de manera que exista un buen amarre en las esquinas, las paredes deben tener una distribución uniforme y ser lo mas regular posible, de igual forma la dimensión de los vanos no debe sobrepasar el 1/3 del largo total del muro, la distancia mínima entre la esquina del muro y el vano debe ser mayor o igual a 1/3 de la longitud, la altura de los muros no debe sobrepasar 6 veces el espesor del adobe Fig 3.3.

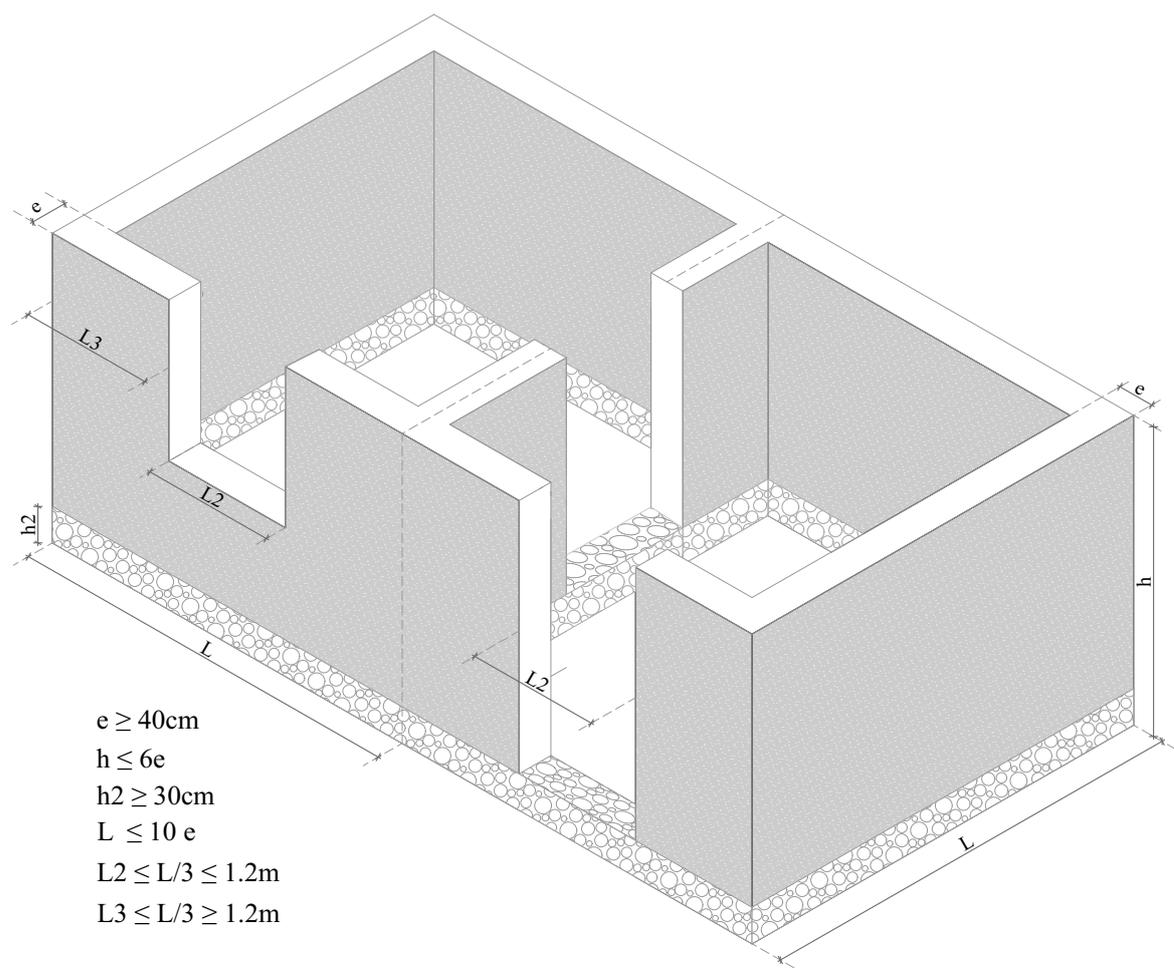


FIGURA 3.3: Recomendaciones para vivienda de adobe sismoresistente
 Fuente. Blondet et al. (2015) Elaboración: Henry León

3.1.3. Adobe estabilizado

Se entiende por adobe estabilizado a la mezcla de barro tradicional con otros materiales como; cemento, cal, fibras vegetales o animales, y elementos de origen artificial, con el propósito de mejorar el comportamiento ante la humedad y su resistencia mecánica.

El bajo costo, la disponibilidad del material, el comportamiento térmico y la posibilidad de autoconstrucción son factores que hacen del adobe uno de los elementos histórica-

mente más utilizados en la construcción, sin embargo como afirma Blondet et al. (2006) las edificaciones en adobe son sumamente inseguras en regiones sísmicas, debido a factores como la bajas resistencias mecánicas, a las malas practicas constructivas y a la falta de refuerzos apropiados.

La mayoría de edificaciones de adobe sufren lesiones graves durante un sismo, ocasionando pérdidas humanas y materiales como ocurrió en los terremotos del 2001 y 2007 en Perú y en 2010 en Chile (San Bartolomé y Quiun, 2012). Éstos acontecimientos han motivado a países con riesgo sísmico ha realizar investigaciones y desarrollar nuevas tecnologías sobre métodos constructivos que mejoren el comportamiento del adobe como material de construcción.

La estabilización del adobe, busca subsanar las deficiencias de la forma tradicional de construcción del adobe y mejorar las cualidades del material, esta acción es fundamental al hablar de resiliencia, ya que al mejorar las características del material, permitirá responder ante un fenómeno natural.

3.1.4. Dosificación del barro

No existe una dosificación exacta ya que la calidad del barro varia dependiendo del lugar donde se obtiene. Una buena practica para controlar las dosificaciones es determinar elementos para medir el volumen, como cajas, carretillas, en nuestro medio las parihuelas. Se debe tener cuidado que no ocurran alteraciones de coloración o textura en la masa que se esta preparando (Martins, Faria, Rotondaro, Cevallos, y Hoffman, 2009).

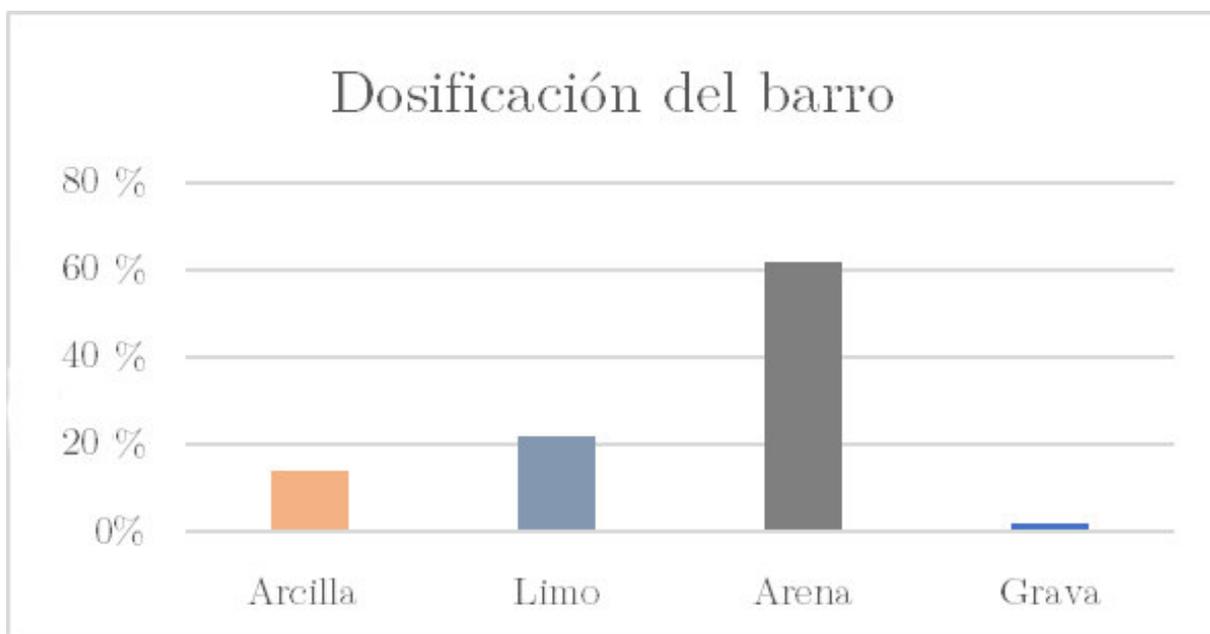


FIGURA 3.4: Dosificación del barro
Fuente: Minke (2005) Elaboración: Henry León

Por su parte uno de los mayores investigadores en construcciones en tierra, Minke (2005) afirma que los adobes deben tener la suficiente arena gruesa para tener alta porosidad y alta resistencia a la compresión, y a su vez tener suficiente arcilla para lograr buena cohesión y trabajabilidad. para ello recomienda que la mezcla debe tener 14 % de arcilla, 22 % de limo, 62 % de arena y 2 % de grava.

3.1.5. Mejoramiento de las características del barro

La estabilización del adobe comienza con el proceso de selección de la tierra adecuada, existe gran variedad según el número de elementos que lo componen; tierra gravosa, arenosa, limosa, y arcillosa (Carazas, 2002).

Tabla 3.1: GRANULOMETRÍA DE LOS COMPONENTES DEL SUELO

Dimensión de los granos d (mm)	Clasificación de las partículas	Características principales
$2 \leq d \leq 20$	Grava	Elemento inerte y resistente
$0,06 \leq d < 2$	Arena	Elemento inerte, sin cohesión
$0,002 \leq d < 0,06$	Limo	Sin cohesión, disminuí la resistencia de la arena
$d \leq 0,002$	Arcilla	Posee fuerte cohesión, se expande en la presencia del agua, se retrae al secarse

Fuente: Martins, Faria, Rotondaro, Cevallos, Hoffman, (2009).

Blondet et al. (2003) afirman que: “las características de los suelos que tienen mayor influencia en la resistencia de la albañilería de adobe son aquellas relacionadas con el proceso de contracción por secado o con la resistencia seca del material” (p.9).

El suelo o tierra tendrá influencia directa en la resistencia final del adobe, dependiendo de la cantidad, el tipo de arcilla, limos y arena, la granulometría del barro y de su preparación y mezclado (Calderón, 2013)

A través de ensayos de campo como: la prueba de la bola, del rollo o la del vidrio, se verifica si la tierra reúne las condiciones para la elaboración del adobe.

Prueba de la bola

Se toma cierta cantidad de tierra y se agrega un poco de agua hasta formar una bola de 2 a 3cm aproximadamente, luego se aprieta con los dedos, si la bola no se destruye ni se fisura es porque contiene mucha arcilla. Si la bola se desintegra con facilidad contiene mucha arena y en ninguno de los dos casos debe utilizarse (Fig.3.5).

También se realiza la prueba dejando caer la bola de una altura de 1,50m aproximadamente y se analiza el comportamiento.

La tierra apta para construir el adobe debe estar en un estado intermedio es decir no debe ser muy plástica ni desintegrarse con facilidad; si la tierra contiene mucha arcilla se debe agregar arena o grava para aumentar la resistencia a compresión, humedeciendo los agregados antes de añadir a la mezcla.



FIGURA 3.5: Prueba de bolita
Fuente: Martins et al. (2009)

Prueba del rollo

Se toma una porción de tierra, se agrega agua y sobre una superficie plana se hace un rollo de 25 a 30cm de largo y 1 cm de espesor aproximadamente, la muestra debe romperse entre 5 y 15 cm identificando un material óptimo que pueda utilizarse en la construcción; si se rompe antes de los 5cm quiere decir que contiene mucha arena y si se rompe luego de los 15cm contiene demasiada arcilla.



FIGURA 3.6: Prueba del rollo
Fuente: Martins et al. (2009)

Prueba de vidrio

En un envase de vidrio cilíndrico, transparente y liso se coloca una porción de tierra seca suelta hasta 1/3 de su altura, se agrega agua las 2 terceras partes del recipiente , luego se tapa el recipiente y se agita con fuerza hasta que el material se disuelva, luego de una hora aproximadamente se agita nuevamente; se coloca sobre una superficie horizontal y cuando el agua este limpia se mide las alturas de los sedimentos y se cuantifica las proporciones de arcilla, limo y arena que contiene la muestra.

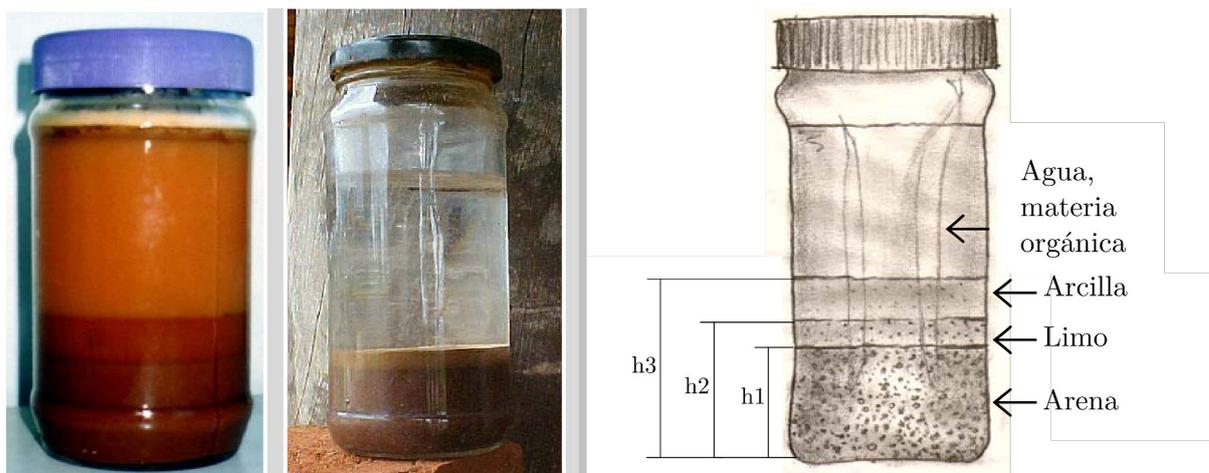


FIGURA 3.7: Sedimentación en envase de vidrio
Fuente: Martins et al. (2009)

3.1.6. Estabilizadores

La tierra que carece de las condiciones óptimas para la construcción debe ser mejorada con componentes que garanticen la estabilidad de la vivienda, tomando en cuenta que la estabilización aún no tiene valores estandarizados, depende del constructor hacer las pruebas necesarias con diferentes tipos y cantidades de estabilizadores (Stulz y Mukerji, 1993). Existe algunas recomendaciones para estabilizar el suelo con el que se construyen los adobes; la adición de elementos disponibles en la naturaleza como, como paja, fibras de coco, tamo de trigo, cerdas de animal, cabuya cenizas de madera, excremento de animal entre otros; y los estabilizadores industriales, entre los más comunes: el cemento, cal, puzolana, yeso, bitumen o emulaciones asfálticas (Minke, 2005), normas como las Neozelandesa NZS 4299 (1998b) y la española UNE 41410 (2008) recomiendan la utilización de estos componentes para asegurar la resistencia y durabilidad de las edificaciones de adobe. La norma española recomienda no superar el 15% de la masa en seco.

Es fundamental la incorporación de elementos estabilizadores ya que se incrementa la resistencia a la tracción, compresión y también reduce la tendencia a contracción o dilatación, disminuye o elimina la absorción del agua; a continuación se detallan los mas comunes.

Fibras vegetales y animales

Se usan como refuerzo para disminuir el agrietamiento cuando el suelo tiene alto contenido de arcilla. Las fibras se deben cortar en tamaños no mayores a 6cm y deben ser mezcladas completamente; la proporción mínima a utilizarse es de 4% por volumen de tierra; de 20 a 30 kg. por m³; el estiércol de caballo es utilizado comúnmente por su efecto reforzador debido a las partículas fibrosas y característica de repeler los insectos. (Stulz y Mukerji, 1993).

Ceniza de madera

Con la incorporación del 5 al 10% de ceniza de madera dura por volumen de tierra se mejora la compresión del adobe en seco cabe mencionar que la ceniza no mejora la resistencia al agua (Stulz y Mukerji, 1993).

Cal y puzolana

Se utiliza principalmente para suelos con bajo contenido de arcilla, al añadir cal y puzolana se obtiene un aglomerante cementoso, se puede emplear cal viva (CaO) bien triturada pero su temperatura aumenta significativamente pudiendo dañar la piel al momento de la mezcla, por otro lado se debe hidratar el muro por un tiempo mas prolongado; es mas efectivo la utilización de la cal apagada o hidratada (Ca[OH]₂) que puede se emplear como polvo seco y se encuentra en cualquier tienda de materiales de construcción o agropecuarias. la dosificación puede varia entre 3 a 14% por peso seco, dependerá del contenido de arcilla del barro, si la cantidad de arcilla es elevada se necesita mas cal.

Cemento portland

Utilizado generalmente para estabilizar suelos con bajo contenido de arcilla, actuando de manera semejante al concreto ya que aglomera las particular que componen el barro, y al adicionar agua forma un aglomerante puzolánico y al agregar cal la mezcla se vuelve mas trabajable. Si la cantidad de arcilla en el suelo es alta, al agregar cal se estabiliza el suelo. La dosificación dependerá de las características del suelo que se utilice; se recomienda un mínimo de 5% por volumen. La mezcla del suelo cemento se debe hacer en seco; se añade agua y se mezcla completamente antes de su utilización debido al tiempo de fraguado. El cemento portland otorga mayor resistencia mecánica, proteccion contra la humedad, y brinda un mejor comportamiento ante las dilataciones y contracciones del barro en las construcciones de adobe. (Stulz y Mukerji, 1993).

Melaza de caña

Mejora notablemente las propiedades de compresión y reduce el ascenso de humedad por capilaridad si se añade melaza a la mezcla de suelo, es recomendable para suelos limo-arenosos, si se trabaja con suelos arcillosos se agrega cantidades mínimas de cal a la mezcla. Las proporciones que se debe agregar son el 5% del peso del suelo (Stulz y Mukerji, 1993).

3.2. Caracterización mecánica del adobe

Para determinar los datos que se van a utilizar en la simulación del comportamiento estructural de los muros de adobe mediante software se analizó documentación que describe el comportamiento mecánico de mampostería de adobe mediante ensayos de laboratorio Tabla 3.2, con lo cual se determinó que es muy difícil establecer con exactitud el comportamiento mecánico como: compresión, flexión y el modulo de elasticidad, ya que depende de factores como las características de la tierra, fibras vegetales que se utilizan, procesos de fabricación, el secado entre otros, debido a ello no se puede establecer una constante como sucede con otros materiales (Aguilar y Quezada, 2017).

Tabla 3.2: COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL ADOBE SEGÚN INVESTIGACIONES REALIZADAS

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE					
Densidad (ton/m ³)	Módulo de elasticidad (kgf/cm ²)	Compresión (kgf/cm ²)	Flexión (kgf/cm ²)	Corte (kgf/cm ²)	Fuente
1.80	1170	12.2	-----	0.31	Yamín et
(unidades) 1.78 (muretes)	1000.342	11.2169	4.996 (unidades)	0.28	Yamín et al. (2007).
-----	3755.206	10.808	3.365 (unidades)	1,835	Arroyo et al. (2013).
-----	353.025 (unidades) 238.71 (muretes)	10.339 (unidades) 5.438 (muretes)	0.852 (unidades)	0.230 (muretes)	Aguilar y Quesada (2017).
1.651.87 (unidades)	-----	8.15	Buena (si tienen paja o están estabilizados)	-----	Diaz (2012)

Fuente: Aguilar y Quezada 2017.

Elaboración: Henry León

Para obtener resultados que se asemejen a las características de la zona de estudio, se tomó como referencia los datos de Eddy Aguilar y Rosa Quesada “*Caracterización física y mecánica del adobe en el Cantón Cuenca*” de la Universidad de Cuenca, en la que se realizan ensayos mecánicos tomando muestras de tres diferentes fábricas de adobe y de dos edificaciones patrimoniales de la ciudad: casa Moreno (edificación 1) y la casa Palacios Abad (edificación 2) presentando resultados dispersos.

A través del análisis se consideró los datos de la adobera 1 ya que cumplen con las

resistencias mínimas que exigen normas internacionales que abordan la construcción con adobe como la NTE E.080 (2017) del Perú y NZS 4298 (1998a) de Nueva Zelanda, en las cuales sugieren valores para la resistencia a la compresión de $\geq 1,0$ MPa, en unidades y 0,6 MPa en muretes, para la flexión de 10 % a 20 % de la resistencia a compresión, 0,025 MPa para tracción, y un modulo de elasticidad de 200,0 MPa Tabla 3.3.

Tabla 3.3: RESISTENCIAS MÍNIMAS DEL ADOBE SEGÚN NORMATIVAS

RESISTENCIAS MÍNIMAS SEGÚN NORMATIVAS					
NORMA	Módulo de elasticidad (kgf/cm ²)	Compresión (kgf/cm ²) unidad -adobe	Compresión (kgf/cm ²) Murete	Flexión (kgf/cm ²) Murete	Corte (kgf/cm ²) Murete
CYED(HABITERRA)	NP	$\geq 1,2$	NP	NP	NP
Internacional Building Code (IBC)	413,7	$\geq 2,1$	NP	NP	NP
NMAC 14.7.4.	NP	$\geq 2,1$	NP	NP	NP
NTE E. 080 (Perú)	200,0	$\geq 1,0$	0,6	NP	0,025
NZS 4298 (Nueva Zelanda)	300 resistencia compresión	$\geq 1,3$	NP*	10% a 20% resistencia compresión	NP
Office of Internatinal Affairs (OIA)	NP	$\geq 1,7$	NP	NP	NP
(España)	NP	UNE-ENV	NP	NP	NP
baja = 0,75 media = 1,5		alta = 2,25			

Fuente: Aguilar y Quezada 2017.

Elaboración: Henry León

3.3. Sistemas de reforzamiento sísmico para muros de adobe

Países como Perú, Chile, Colombia entre otros han estudiado varios métodos de reforzamiento estructural para viviendas de tierra. Estos sistemas de refuerzo tienen como objetivo otorgar estabilidad a los muros de adobe para restringir su desplazamiento ante cualquier evento sísmico, previniendo los principales modos de falla para reducir el riesgo de colapso de la vivienda (Torres y Jorquera, 2018).

En la presente investigación se han analizado tres sistemas de reforzamiento, para muros de adobe, con elementos que contribuyan a digitalizar la estructura como la malla

electro soldada, geomalla y con elementos de madera, profundizando el análisis mediante el sistema de refuerzo con malla electro soldada y revoque cementicio, considerando que autores como Blondet (2011), Minke (2001), Yamin et al (2003), Albarracín et al. (2014), afirman que la utilización de este elemento como refuerzo, presenta mejores resultados ante eventos dinámicos que otros materiales; a ello se suma mejores condiciones técnicas y económicas que facilitan la auto-construcción.

3.3.1. Refuerzo con geomalla

La geomalla es un material en malla de alta tensión que resiste desde 15 KN/m hasta 800 KN/m; es producida utilizando diferentes elementos como fibra PET, PVA PEAD y Fibra de vidrio que luego son revestidas con polímeros resistentes al fuego y de alta durabilidad (Torres y Jorquera, 2018).

Las geomallas son fabricadas a base de polipropileno (PP), producidas por un método de extrusión y posteriormente estiradas de forma uni-axial, bi-axial y tri-axial para incrementar sus características a la tensión.

Las geomallas entrelazan y dan rigidez a los materiales de relleno mediante el confinamiento de partículas granulares en las aperturas, generando como resultado un componente más fuerte que brinda mayor capacidad de servicio y duración, se puede aplicar en:

- Refuerzo y estabilización de muros
- Refuerzo de taludes pequeños como sistemas de gaviones
- Estabilización de suelos blandos

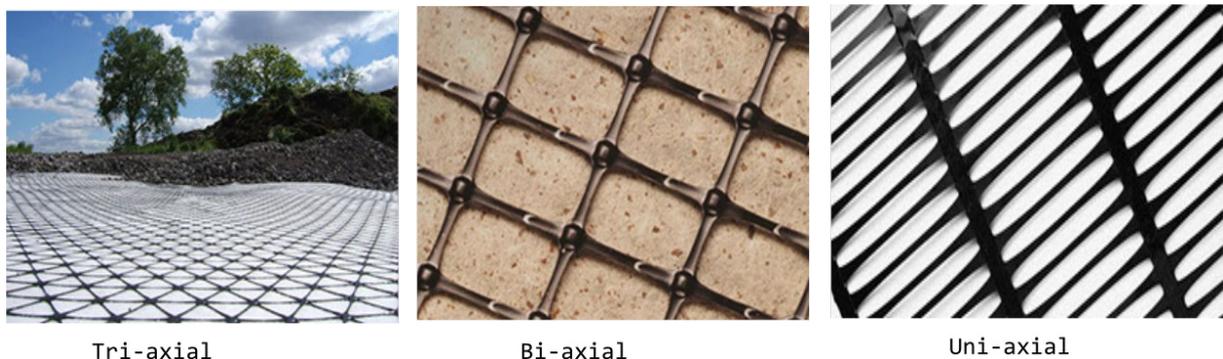


FIGURA 3.8: Tipos de geomallas

Fuente: <https://www.geosinteticos.com/geomallas.html>

Jorquera N. y Torres C. (2018) establecen que la geomalla no brinda rigidez a los muros de adobe, pero si mejora la capacidad de deformación y ductilidad frente a solicitaciones

mecánicas, logrando un mejor control de fisuras, y evita el posible colapso de la estructura, permitiendo tener mayor tiempo de evacuación.

Este sistema se emplea en los muros de adobe como reforzamiento sísmico, colocándolas en las dos caras del muro y tabique sujeta tanto horizontal como verticalmente mediante conectores de cabuya o rafias de nylon de 3mm aproximadamente, se amarran en las intersecciones de las aberturas cada 30 a 50cm; para colocar los pasadores que conectan ambas caras se debe perforar el muro con taladro. La geomalla deberá sujetarse a la cimentación y a la viga corona, y deberá cubrir todos los vanos del muro ([Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2010](#)).



FIGURA 3.9: Perforación del muro/ Conectores de cabuya
Fuente: Espinoza y Ruilova(2014)



FIGURA 3.10: Colocado de geomalla / refuerzo de la base del muro
Fuente: Espinoza y Ruilova(2014)

En la base del muro, sobre la geomalla, se debe colocar tablas de eucalipto en las dos caras del muro conectadas mediante varillas de 12mm con rosca en los extremos; se dejan

libre 1.5cm a cada lado para colocar las tuercas con las que se ajustará al muro, estos elementos funcionan como una cadena de amarre y a la vez sirve para sujetar la geomalla; las varillas roscadas se colocan cada 30 a 50 cm para asegurar un mejor funcionamiento y sujeción de la geomalla.

En el caso de que la edificación no cuente con viga collar se debe implementar una, ya sea de concreto armado o elementos de madera para lograr un mejor confinamiento de la mampostería, y para poder anclar la geomalla; se recomienda cubrir la totalidad del muro por ambas caras incluyendo las aberturas de puertas y ventanas, El traslape de la geomalla debe ser $\geq 30\text{cm}$

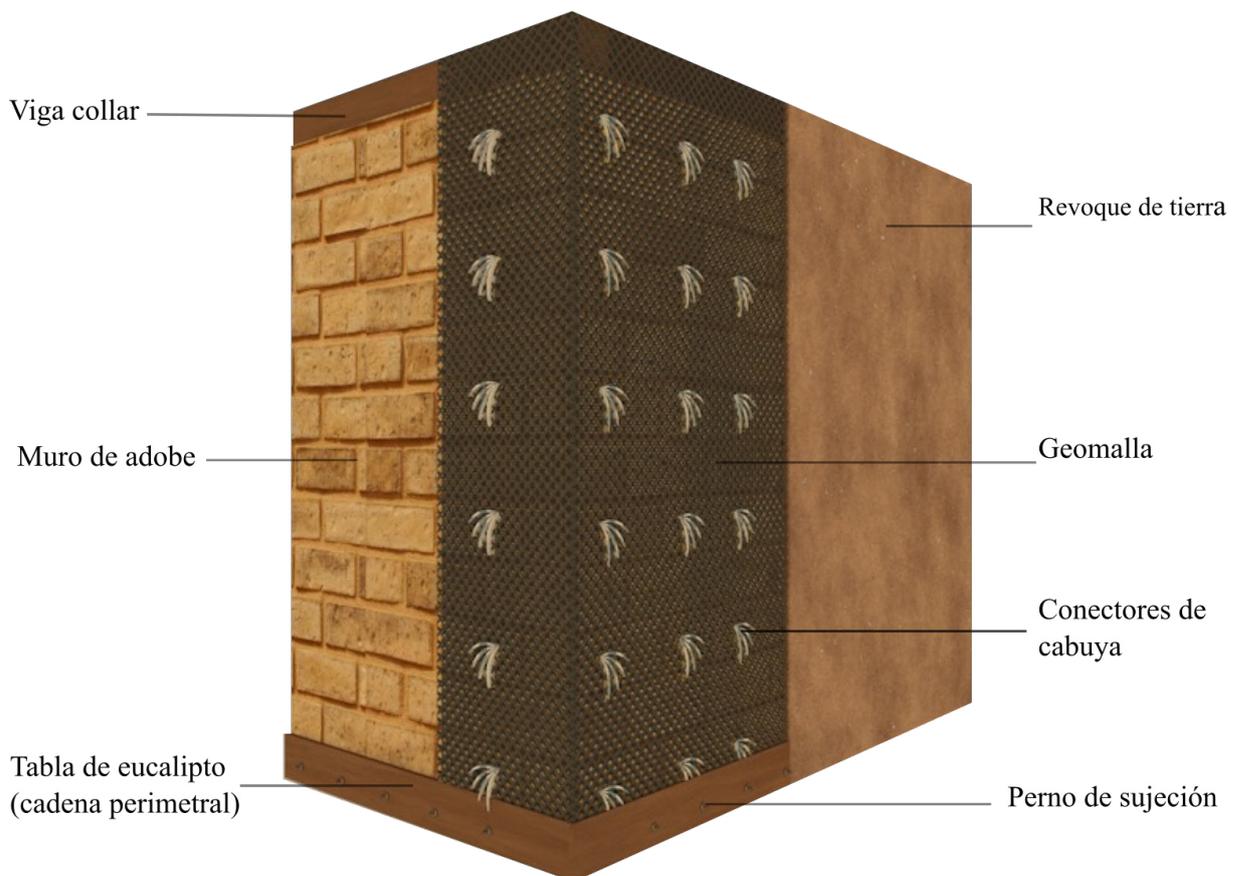


FIGURA 3.11: Refuerzo de muros de adobe con geomalla
Elaboración: Henry León

3.3.2. Refuerzo con elementos de madera

Estudios científicos han comprobado que la utilización de elementos de madera dentro de la mampostería de adobe brinda una buena respuesta ante sollicitaciones mecánicas ya que las excelentes propiedades de la madera permiten absorber los esfuerzos que se generan durante un sismo, ayudando a disipar la mayor cantidad de energía (Torres y Jorquera, 2018).

Una opción de ésta alternativa de refuerzo consiste en colocar piezas de madera en ambas caras del muro en forma paralela e interconectadas entre si mediante pernos cada 30cm; previamente se debe perforar el muro y luego se satura con mortero cementicio. Las medidas mínimas de las piezas serán de 15 x 2cm, se debe colocar de acuerdo a la estructura del muro, tanto en sentido vertical como horizontal formando una especie de rejilla, se realiza una perforación en el muro del espesor de la madera, con la finalidad de colocar el revoque y evitar

La distribución de los refuerzos se debe hacer de acuerdo a la morfología del muro, los elementos horizontales se colocan cada 2m como máximo, tomando en cuenta que se debe reforzar alrededor de puertas y ventanas. Los elementos verticales no deben superar separaciones de hasta 3m y deben estar interconectados con los refuerzos horizontales mediante pernos o varillas de 6mm roscadas en los extremos que se colocan en el centro de las intersecciones.

En los encuentros de refuerzos en la esquina del muro tanto internas como externas se debe colocar unas platinas en forma de L las cuales deben estar ancladas a la madera mediante pernos, esto permitirá que los refuerzos de absorban los esfuerzos garantizando el funcionamiento global de la edificación.

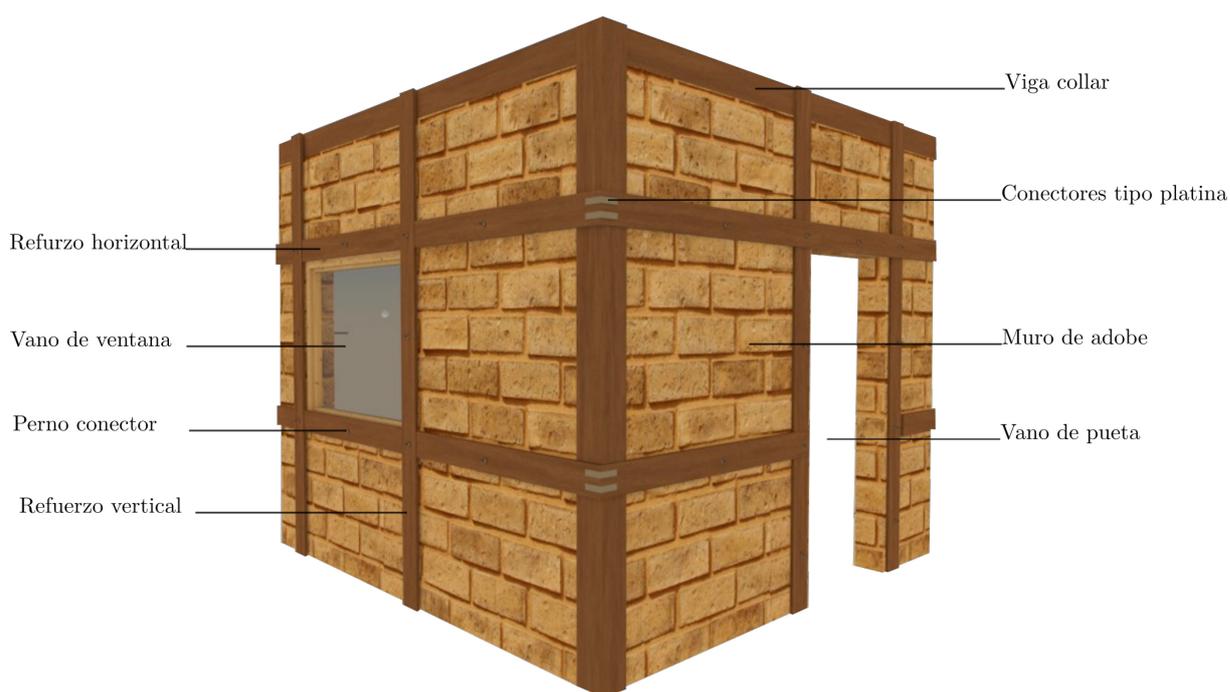


FIGURA 3.12: Sistema de refuerzo con elementos de madera
Elaboración: Henry León

Otra alternativa de refuerzo con elementos de madera como propone Torres y Jorquera (2018), es incorporar piezas estructurales horizontales tipo escalerilla, que consiste en formar llaves con tiras de 4x5cm en forma de escalera de ancho igual a la sección del muro, que se incrustan en el muro cada 4 o 5 hiladas de adobe, permitiendo la transición

de esfuerzos sísmicos, además de amarrar los muros perpendiculares para lograr un mejor comportamiento de la estructura.

Este refuerzo se aplica a lo largo del muro respetando los vanos; en las esquinas o intersecciones se refuerza con elementos tipo platina.



FIGURA 3.13: Refuerzo horizontal con elementos de madera tipo escalerilla
Fuente: Torres y Jorquera, 2018.

3.3.3. Refuerzo con malla electro soldada

La malla electro soldada es un elemento estructural formado por varillas lisas o corrugadas de acero de alta resistencia de diámetros variados colocadas perpendicularmente entre 10 a 50 cm de separación, y unidas por un proceso de electro soldado. Su límite de fluencia mínima es de $f_y \text{ mín.} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$, y están fabricadas de acuerdo a las normas NTE INEN 2209 – ASTM 185 – ASTM 497.

La malla es empleada como refuerzo estructural en los siguientes elementos.

- En muros, pavimentos, pisos industriales
- Plintos, gaviones, contrapisos
- Losas, losetas, refuerzo de novalosa

Esta alternativa de refuerzo, como afirma Yamin et al. (2007) se ha estudiado de manera profunda por investigadores de la Pontificia Universidad Católica del Perú, así como

también otras instituciones como el Instituto Getty de Conservación, CRAterre, entre otros, estableciendo mediante el análisis de laboratorio que ésta alternativa de refuerzo una solución que permite retardar el colapso de una vivienda de adobe dando lugar para que los ocupantes puedan evacuar a tiempo en caso de un movimiento sísmico.



FIGURA 3.14: Refuerzo de muros de adobe con malla electrosoldada
Fuente: Escamirosa, Ocampo y Arroyo, (2014).

Esta alternativa de refuerzo consiste en colocar la malla en franjas de manera horizontal y vertical en ambas caras del muro, en una sección de 50 cm de ancho, simulando un sistema aporticado de vigas y columnas en las esquinas e intersecciones de muros con el fin rigidizar la estructura de la vivienda (Zegarra, San Bartolomé, Quiun, y Giesecke, 1997)



FIGURA 3.15: Perforación y colocación de la malla electrosoldada
Fuente: Escamirosa et al., (2014).

Es necesario identificar las características geométricas de la vivienda, dimensiones espacios, así como elementos estructurales existentes: cimientos, muros y cubierta, para posteriormente establecer las zonas donde se va reforzar, se elimina el mortero dejando

la mampostería descubierta para perforar el muro con taladro, formando una grilla de 25cm de separación en sentido vertical y horizontal para la colocación de los conectores, que serán de alambre N°5 Fig.3.15, el amarre se lo realiza preferiblemente en las intersecciones de la malla para tener mayor soporte; finalmente, previa saturación del muro con una solución agua cemento que actuá como puente de adherencia se coloca un revoque cementicio, cuya relación es 1:6 cemento-arena gruesa (Albarracin¹ et al., 2014).

Cabe mencionar que en el caso de no existir la viga collar o viga corona se debe implementar una ya sea mediante elementos de madera o vigas de hormigón armado que ayude al confinamiento de los muros.

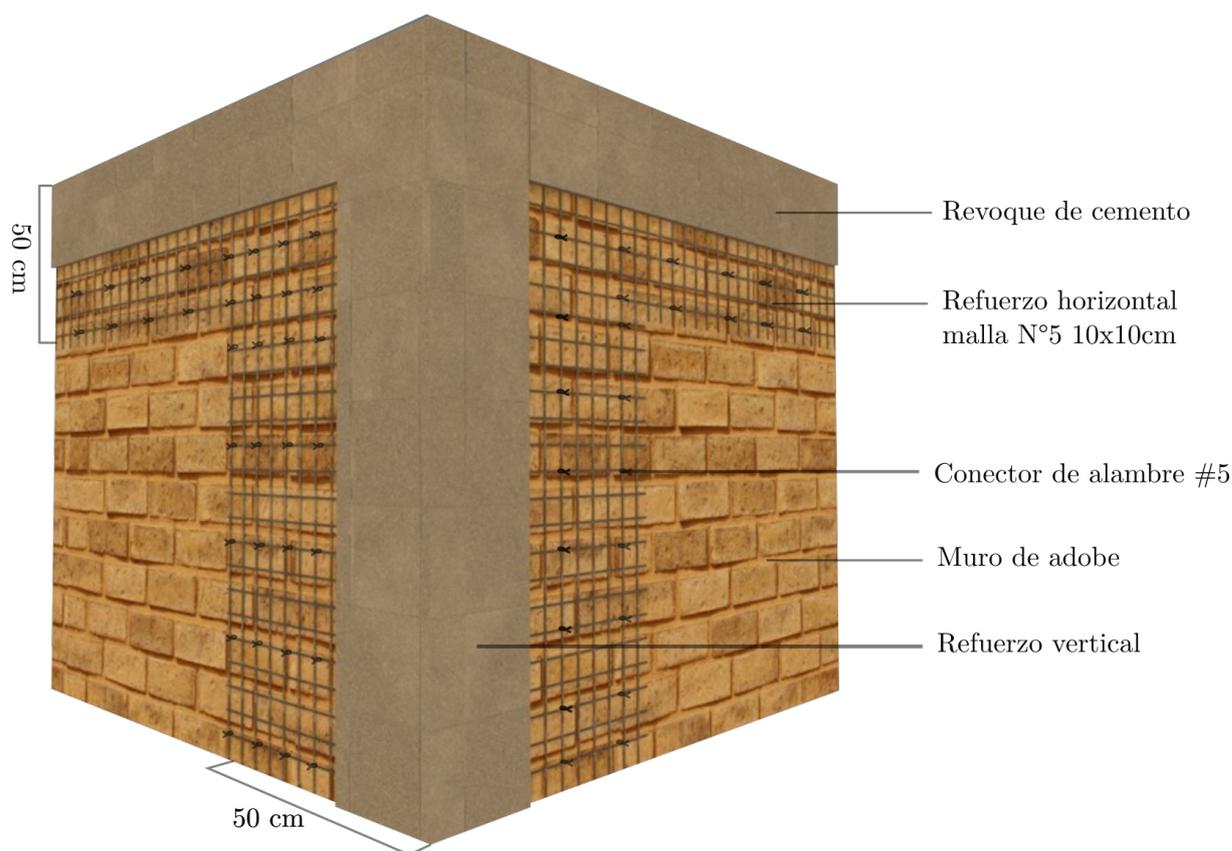


FIGURA 3.16: Sistema de refuerzo con malla electrosoldada
Elaboración: Henry León

3.4. Simulación sísmica de vivienda de adobe sin refuerzo, y con refuerzo de malla electrosoldada

Para esta investigación se tomo como herramienta de modelación estructural el software SCAD ++, que permite realizar la simulación del comportamiento sísmico de las viviendas analizadas en el presente trabajo.

Para la elección de la vivienda que será sujeta de análisis se considera la edificación que

presenta severos daños estructurales, la distribución en planta, y morfología del modulo es la que menos consideraciones técnicas se aplica de acuerdo a las recomendaciones para construcciones en adobe, permitiendo obtener un mayor análisis y resultados que favorezcan la investigación.

Se modeló la vivienda en sus estado actual tomando en consideración todos los elementos que hacen referencia a la estructura; los muros con un espesor de 30cm, las intersecciones están resultases con los adobes trabados, no cuenta con una viga collar que amarre la estructura, los vanos en la planta alta no cumplen con las condiciones que recomiendan las normas de construcción con tierra, el entrepiso y la estructura de cubierta son de madera de eucalipto las cuales se asienta directamente en los muros.

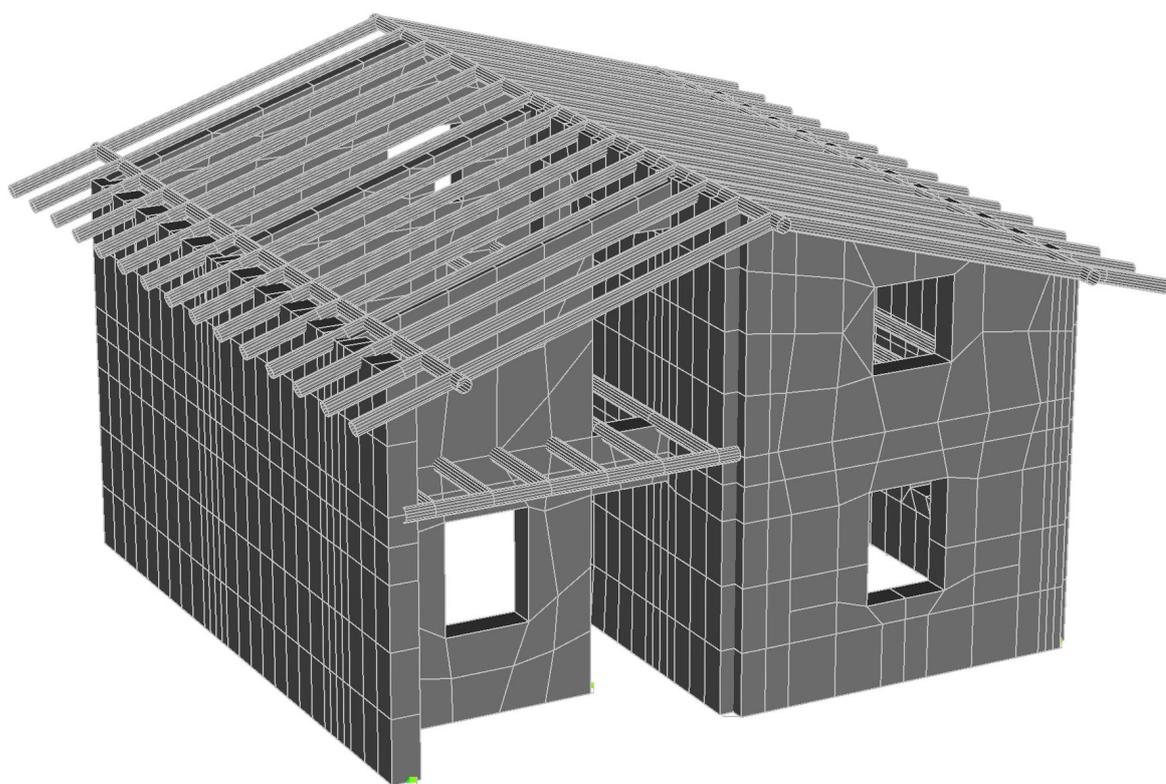


FIGURA 3.17: Modelado estructural
Elaboración: David Cajamarca, Henry León

La simulación del comportamiento de la estructura de adobe se realizó bajo dos consideraciones; en el estado actual del los muros, es decir sin refuerzo, y otra con un sistema aporticado que simule la función de vigas y columnas con malla electro soldada; se consideró reforzar verticalmente todas las intersecciones y esquinas de los muros, en las dos plantas, emulando la función de columnas, en sentido horizontal se reforzó la sección donde se asientan las vigas de entrepiso y la cubierta, asimilando la función de una viga collar, generando un sistema estructural que rigidice la mampostería de adobe, y que absorba

los esfuerzos ante un movimiento sísmico.

Para el modelado estructural se tomó los datos de la investigación de Aguilar y Quesada (2017) sobre el comportamiento mecánico del adobe en la ciudad de Cuenca con el objeto de tener una aproximación cercana al contexto de la edificación, se asumen los valores de esfuerzos de compresión de 11 kgf/cm^2 , modulo de elasticidad de 353.025 kgf/cm^2 expuestos en la Tabla 3.2; y para la flexión el 10 % (1.1 kgf/cm^2) de resistencia a compresión que estipula la norma neozelandesa NZS 4298. Por otra parte mediante los parámetros que exige la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC (2015), se consideró los parámetros de carga muerta total de la estructura, la carga permanente, carga de sismo, sobrecarga(carga viva), sobrecarga de cubierta, carga de granizo y carga de viento.



FIGURA 3.18: Sistema aporticado de refuerzo estructural con malla electrosoldada y revoque cementicio

Elaboración: David Cajamarca, Henry León

El refuerzo se efectúa en el sistema aporticado de vigas y columnas en ambas caras del muro, con malla electro soldada N°5 de $10 \times 10 \text{ cm}$, en una sección de 50 cm vertical y horizontalmente, el cual esta calculado para un sismo con intensidad en la superficie de hasta 9 en la escala macros sísmica internacional MKS-64 que equivale a una magnitud de hasta 7.5 en el epicentro, simulando el sismo ocurrido el 16 de abril de 2016 en Ecuador.

Los parámetros de la malla utilizados para ingresar en el software de modelado estructural son los indicados en las especificaciones técnicas del material; límite de fluencia $f_y = 5.000 \text{ Kg/cm}^2$, módulo de elasticidad: $E_s = 2.100.000 \text{ Kg/cm}^2$, esfuerzo de rotura: $f_s = 5.500 \text{ Kg/cm}^2$. Con los datos ingresados se modeló los refuerzos en todas las intersecciones de los muros tanto vertical como horizontalmente, además se reforzó el área del muro en el que se asienta la cubierta (tímpano), con el fin de obtener una estructura homogénea que absorba los esfuerzos dinámicos.

Presentación de resultados

Los gráficos presentados a continuación son el resultado de la simulación del comportamiento sísmico de una estructura de adobe, en su estado original y con un refuerzo estructural de malla electrosoldada en forma de pórticos, donde se evidencia el mejor comportamiento estructural con el refuerzo, ya que al aplicarle las cargas los esfuerzos son absorbidos por el refuerzo liberando a los muros de la acción negativa de los mismos.

Isocampos de Momentos flectores

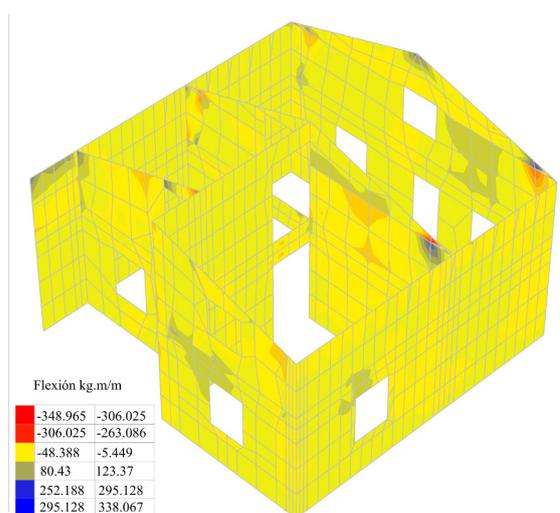


FIGURA 3.19: Isocampos de Momentos flectores sin refuerzo

Elaboración: David Cajamarca, Henry León

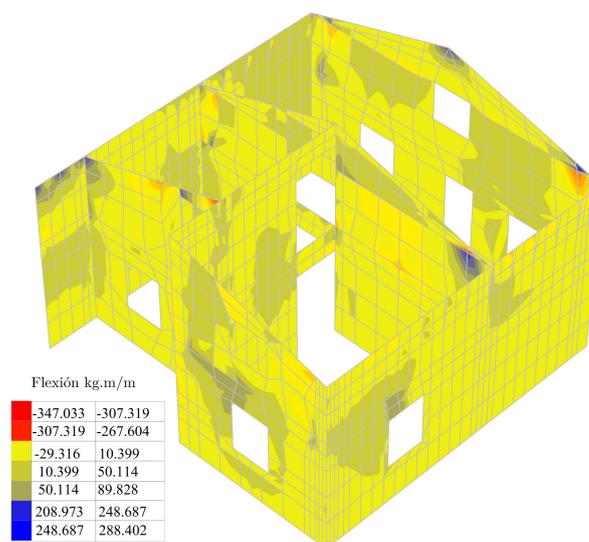


FIGURA 3.20: Isocampos de Momentos flectores con refuerzo

Elaboración: David Cajamarca, Henry León

Según los resultados de la simulación sísmica, el comportamiento más desfavorable del adobe es su trabajo a tracción ya que es lo primero que falla en un fenómeno sísmico, como se evidencia en el modelo sin refuerzo (Fig. 3.19), existen pocas zonas traccionadas (gris), no obstante presentan valores elevados que van de 80 a 123 kg.m/m, mientras que en el modelo reforzado (Fig. 3.20) claramente el número de elementos esforzados aumentan,

pero los valores de los esfuerzos disminuyen notablemente entre 10 y 50 kg.m/m debido a que son absorbidos por los refuerzos, liberando los muros de los mismos.

Los momentos máximos en la estructura de adobe fluctúan entre 50 y 70 Kg.m/m para el modelo sin refuerzo y con refuerzo, sin embargo en el modelo sin reforzamiento (Fig 3.21) se observa los puntos donde se generan los esfuerzos máximos en los muros, evidenciando la inseguridad de la edificación, mientras con el reforzamiento (Fig 3.22) se rigidiza la estructura y se logra reducir esos esfuerzos transmitiendolos a los refuerzos (malla electrosoldada), demostrando que este sistema de refuerzo estabiliza la estructura y reduce el riesgo de colapso.

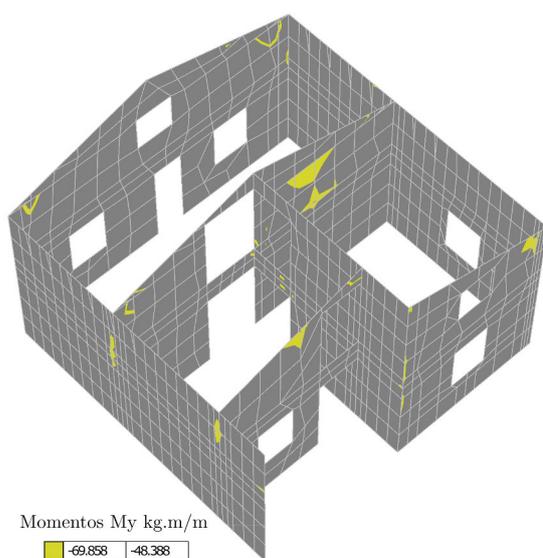


FIGURA 3.21: Momentos flectores en y Sin refuerzo

Elaboración: David Cajamarca, Henry León

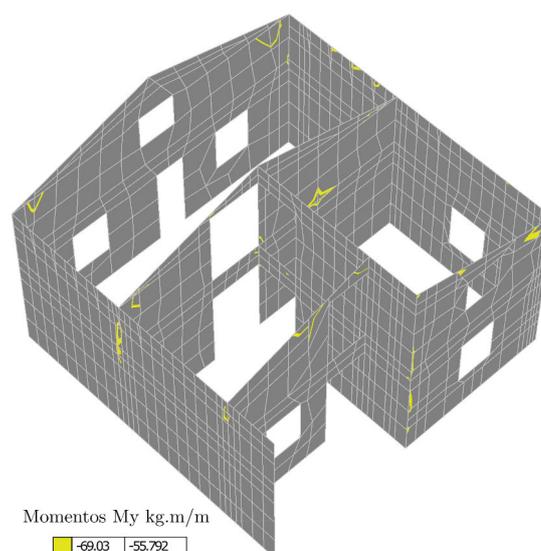


FIGURA 3.22: Momentos flectores en y con refuerzo

Elaboración: David Cajamarca, Henry León

Esfuerzos de tracción y compresión

La información registrada en la Ficha 01 de la edificación en análisis, presenta grietas en los muros producto de solicitaciones mecánicas, esto se corrobora en la simulación estructural, donde los esfuerzos a tracción son los más desfavorables concentrándose en las intersecciones de los muros, en los mismos lugares donde la edificación presenta agrietamiento.

En el modelo sin refuerzo se evidencia los elementos que no asumen esfuerzos de tracción ni compresión ante un movimiento sísmico; esto se puede observar en el modelo sin refuerzo (Fig. 3.23), el que presenta tracciones de 16600 kg/m², cuando el adobe resiste hasta 11000 kg/m². evidenciando el riesgo de la estructura ante un fenómeno sísmico.

En el modelo reforzado se observa que las zonas traccionadas desaparece ya que los esfuerzos se transmiten hacia el refuerzo de malla. Por otra parte, las zonas que trabajan a compresión se mantienen en el modelo reforzado, pero se localizan en las intersecciones

donde se coloca el refuerzo disminuyendo las tensiones, sin embargo existen elementos como las esquinas de los vanos que presentan deformación por compresión que requieren de reforzamiento adicional (Fig. 3.24).

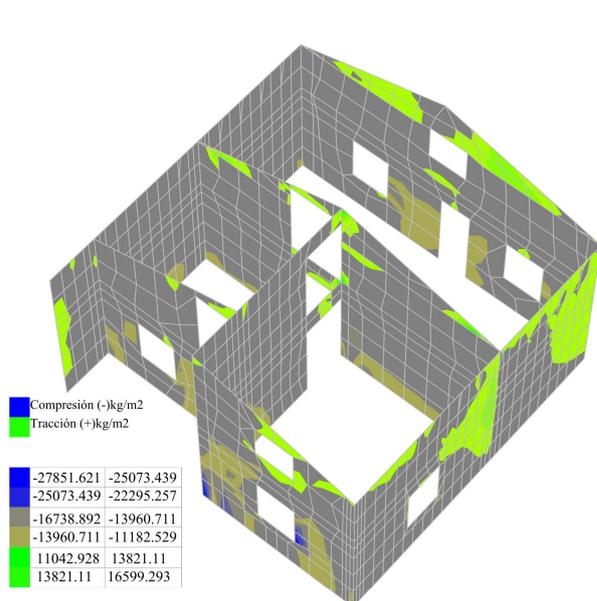


FIGURA 3.23: Tensiones de tracción y compresión no asumidas sin refuerzo
Elaboración: David Cajamarca, Henry León

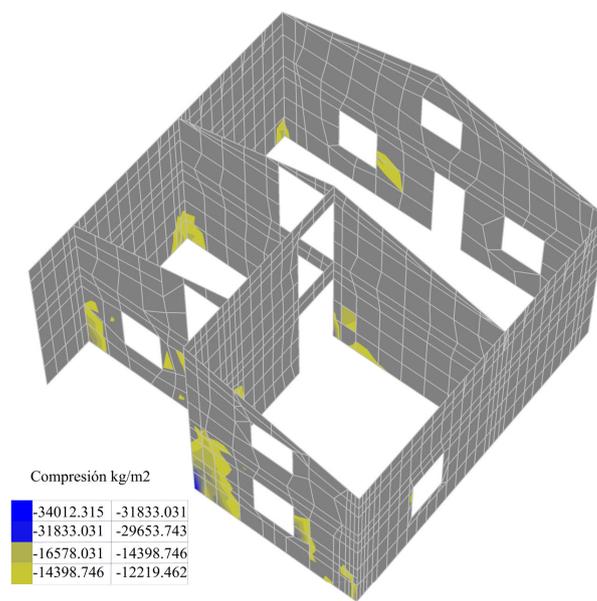


FIGURA 3.24: Tensiones de tracción y compresión no asumidas con refuerzo
Elaboración: David Cajamarca, Henry León

Deformaciones

Con la simulación sísmica se demuestra que la malla no solo asume los esfuerzos de tracción generados en los muros, sino que además otorga una leve rigidez a la estructura evidenciándose una reducción en las deformaciones que se generan al aplicar las cargas.

Las deformaciones mayores se generan en el eje x con valores de 26 mm en el modelo sin refuerzo Fig. (3.25), mientras que en el modelo reforzado las deformaciones disminuyen a 23 mm (Fig. 3.26); por su parte en el eje y las deformaciones son menores; en el modelo inicial se deforma 20 mm (Fig. 3.27), mientras que con el refuerzo la deformación disminuye a 19 mm (Fig. 3.28).

A pesar que las deformaciones en el modelo inicial no tienen valores elevados, al reforzar la estructura, a mas de absorber los esfuerzos disminuye las deformaciones, mejorando la estabilidad de la estructura ante un fenómeno sísmico, lo que garantiza un tiempo evacuación mayor ante una emergencia.

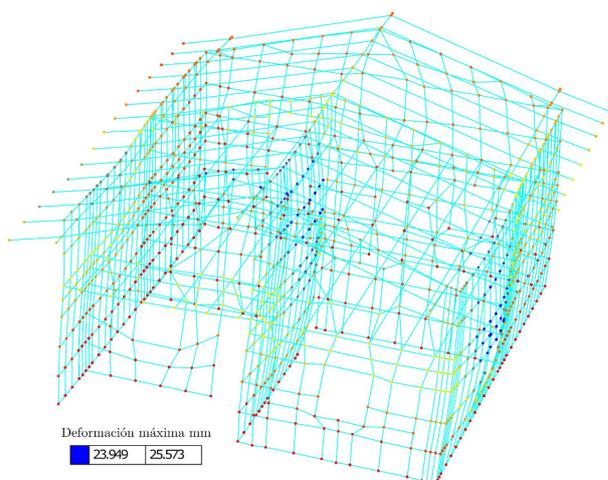


FIGURA 3.25: Deformación en x sin refuerzo
Elaboración: David Cajamarca, Henry León

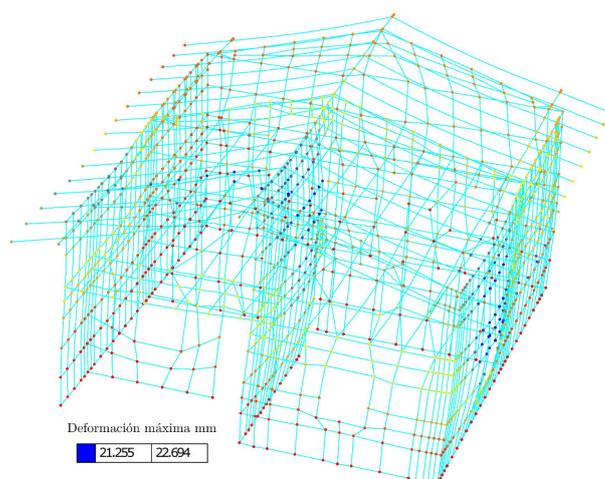


FIGURA 3.26: Deformación en x con refuerzo
Elaboración: David Cajamarca, Henry León

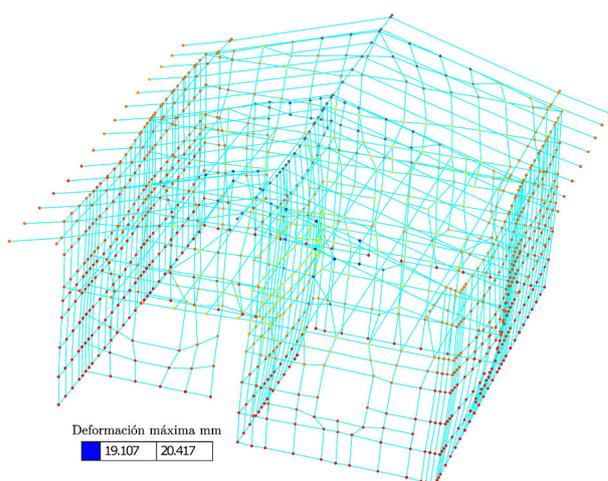


FIGURA 3.27: Deformación en y Sin refuerzo
Elaboración: David Cajamarca, Henry León

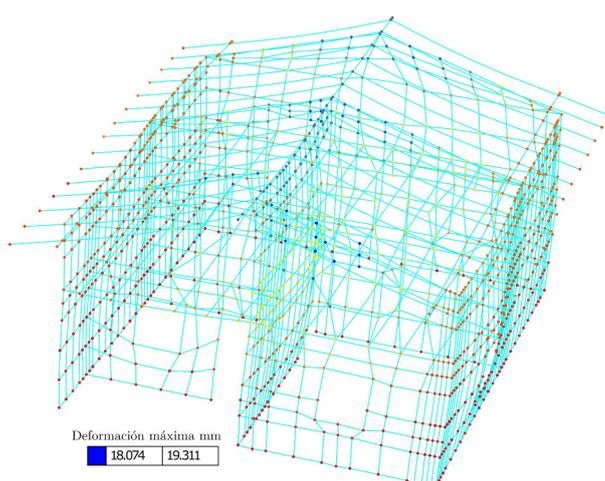


FIGURA 3.28: Deformación en y con refuerzo
Elaboración: David Cajamarca, Henry León

Con base en los resultados de la modelación estructural se puede aseverar que el sistema de reforzamiento propuesto con malla electrosoldada rigidiza levemente la estructura y asume los esfuerzos que se generen por solicitaciones mecánicas, ya que se logra disminuir en su totalidad los elementos que fallan por tracción, transmitiendo las cargas hacia el refuerzo, logrando mejoras sustanciales con respecto al modelo inicial, sin embargo para el sismo con el que fue diseñado el refuerzo, existen elementos sometidos a compresión; como vanos de puertas y ventanas que van a fallar debido a la baja resistencia del adobe, necesitando refuerzos adicionales.

3.5. Recomendaciones de soluciones constructivas para daños estructurales de muros de adobe

Las siguientes recomendaciones se proponen en base a las patologías identificadas en el diagnóstico realizado en el caso de estudio, y a la simulación del comportamiento estructural de una de las viviendas analizadas, mediante la utilización de malla electrosoldada como elemento de refuerzo.

Drenaje perimetral

El drenaje perimetral contribuye a la protección de la edificación contra la humedad, causada por emplazamiento en lugares con niveles freáticos superficiales, o debido a las lluvias, que producen el acenso de humedad por capilaridad hacia la masa del muro, incrementando su contenido de humedad y haciendo que el adobe degrade progresivamente. Para ello la construcción del drenaje es fundamental en edificaciones de adobe.

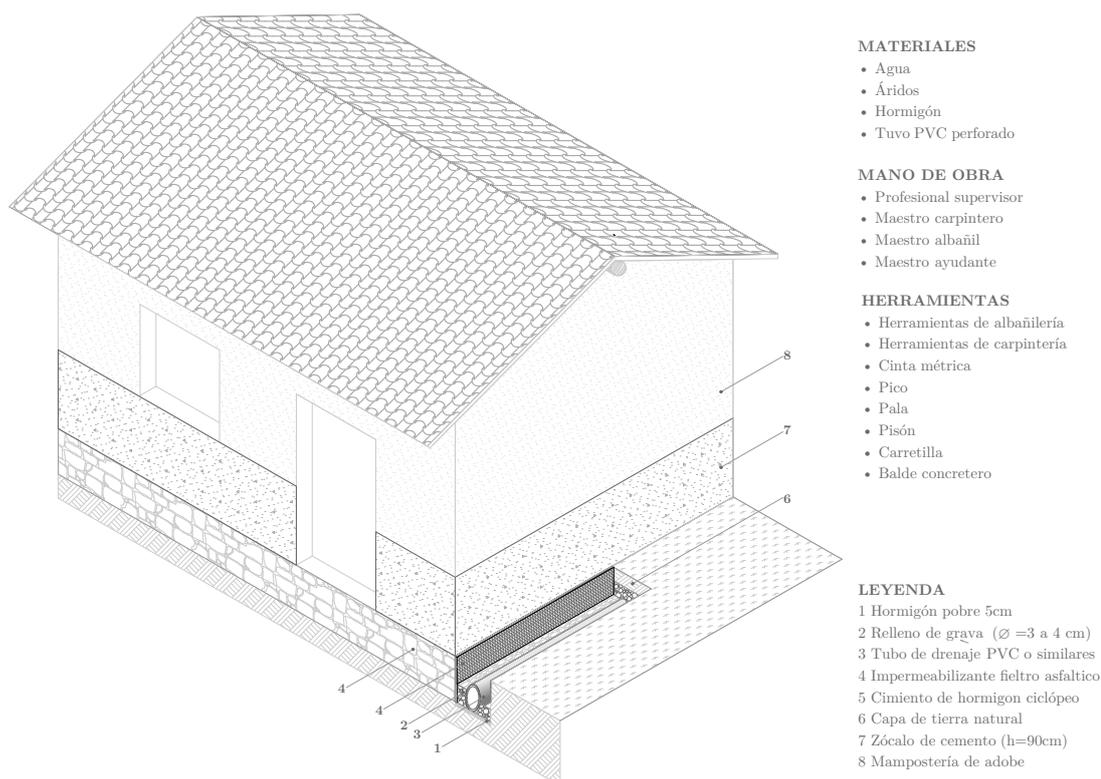


FIGURA 3.29: Drenaje perimetral

Fuente: Cámara chilena de la construcción, 2012. Elaboración: Henry León

Como establece la norma NTE E.080 (2000) de Perú, la cimentación debe tener una profundidad de 60 cm como mínimo a partir de la superficie del terreno y un espesor

de 40 cm. Partiendo de esas condiciones en el caso de la presencia de humedad se debe implementar el drenaje periférico para evacuar el agua del subsuelo; para lo cual se realiza una excavación por todo el perímetro de la vivienda de la misma profundidad del cimiento con un ancho de 40cm, posteriormente se realiza una superficie de hormigón pobre de 2 a 3 cm para nivelar el terreno, perimetralmente se protege la base del muro de la humedad, mediante una tubería de drenaje de pvc o similares para canalizar el agua, sobre este se rellena con grava gruesa (3-5cm), posteriormente se reviste con una capa de arena y se recubre con el terreno natural. Sobre el nivel de las rasantes se protege la mampostería con un zócalo de cemento o piedra, (altura de 90cm), para evitar el daño y su deterioro en contacto con el exterior.

Reposición de la base del muro con hormigón

La Cámara chilena de la construcción (2012) afirma que la deformación de los muros en la parte inferior se da principalmente por la humedad, debido al contacto directo de la mampostería con el suelo, por ascenso capilar, por deslizamientos, o mal diseño de la cimentación, presenta alteraciones en sus características físicas, con agrietamiento y pérdida del material, lo que debilita la estructura, por ello es importante la reposición de la base del muro, para lo cual se presenta la siguiente alternativa:

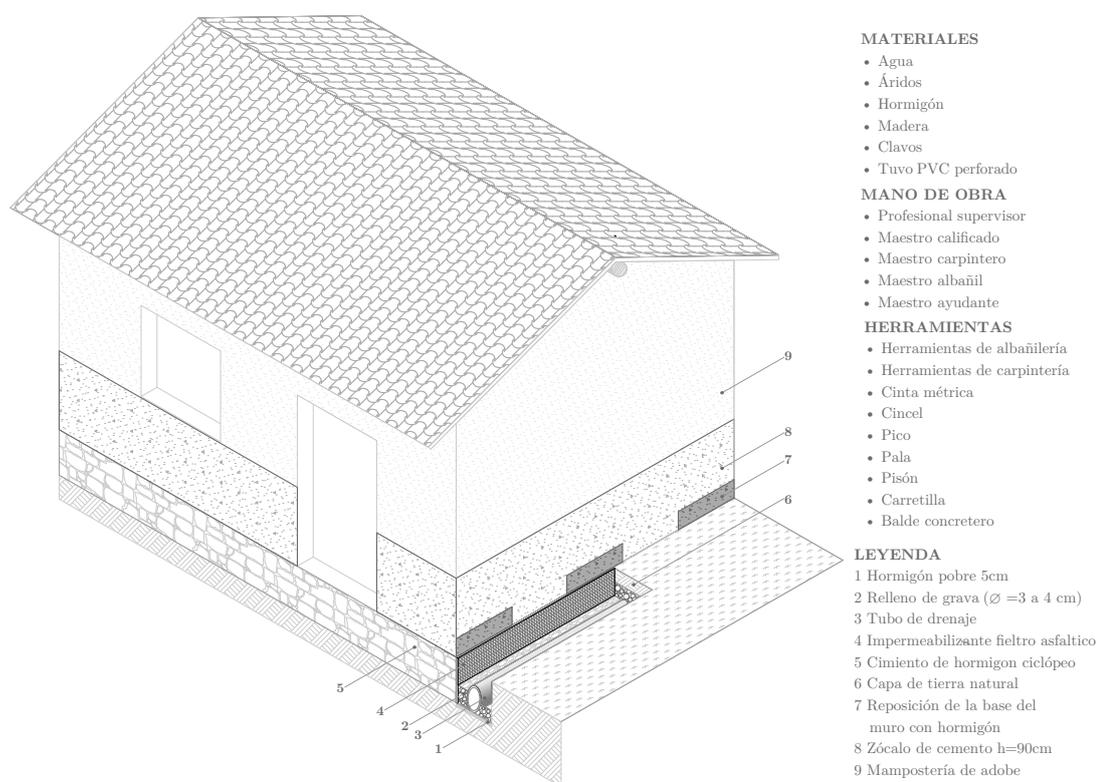


FIGURA 3.30: Reposición de la base del muro

Fuente: Cámara chilena de la construcción, 2012. Elaboración: Henry León

Se realiza la reposición por tramos alternados en las dos caras del muro para evitar que se debilite y fracase. Para ello se señala las franjas que se van a retirar máximo de 1 metro, para trabajar alternadamente, se limpia la parte marcada removiendo el material suelto hasta llegar al eje y la fila superior de adobe que se encuentra en buenas condiciones, en la parte superior del tramo socavado se deja un chaflán de 45°; se coloca el encofrado y se vierte el hormigón, dejando fraguar por 28 días el material y se repite el procedimiento en la cara opuesta del muro hasta reponer toda la parte dañada.

Reparación de cubierta

La presencia de humedad en la parte superior de los muros se debe fundamentalmente a la deformación de la cubierta; tejas rotas, desprendidas o debido a los aleros muy cortos, provocando filtraciones que producen un lavado del material que irá debilitando la estructura del muro.

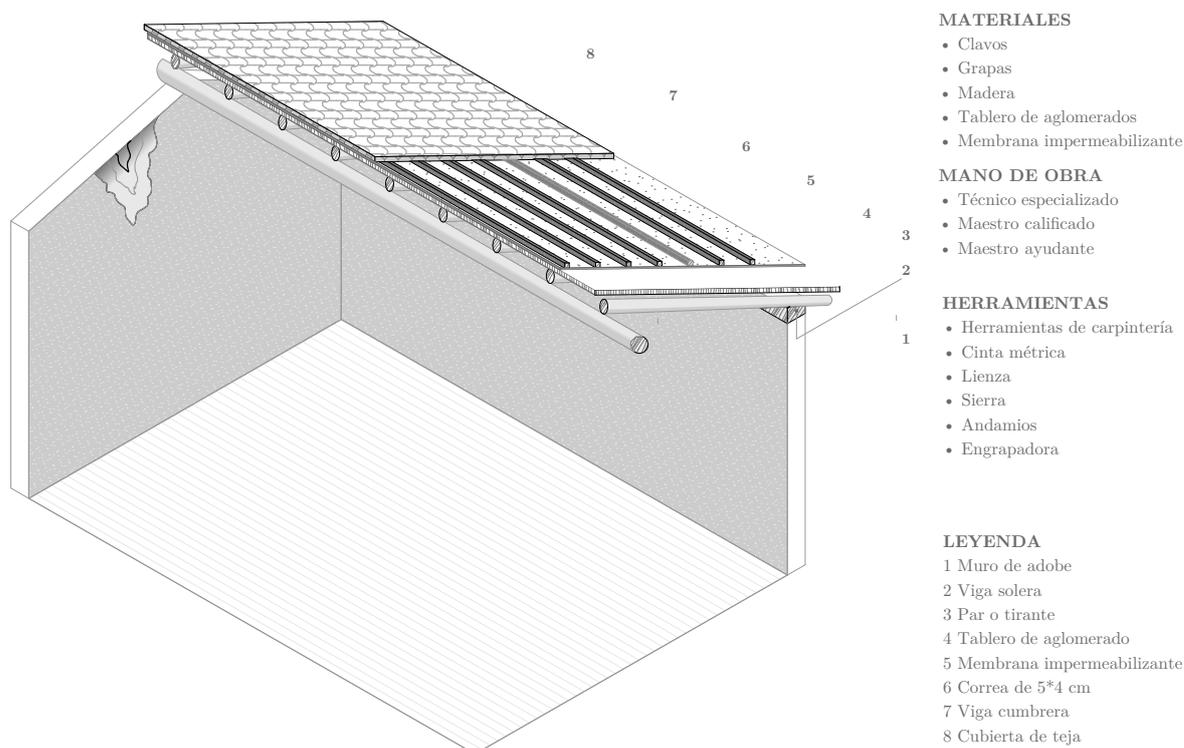


FIGURA 3.31: Reparación de cubierta y colocación de impermeabilizante
Fuente: Cámara chilena de la construcción, 2012. Elaboración: Henry León

La intervención comienza con el retiro de la cubierta afectada, y si es necesario cambiar elementos que se encuentren en mal estado, una vez repuestos los elementos de la estructura se procede a la colocación de los tablero de aglomerado MDF, OSB o similares, los cuales se fijan mediante clavos a los pares o tirantes; sobre éste se coloca la membrana impermeabilizante que puede ser fieltro asfáltico o similares, el traslape entre capas debe

ser de 15cm para garantizar que no exista filtraciones, posteriormente se fijan las correas de 4*5cm cada 30-40cm con clavos de 2", y sobre estas se coloca las tejas o el material que se vaya a utilizar, cabe destacar que el alero debe tener la suficiente distancia ($\geq 1m$) para que cubra el muro de la lluvia.

Reposición del revoque agrietado a base de colca

El agrietamiento del revoque tiene varios factores que influyen en esta patología como solicitaciones mecánicas, exposición directa a los agentes atmosféricos como sol viento lluvia, o también por la mala calidad del barro que se ha empleado, esto provoca que se vea afectado el muro de adobe en su función estructural, pues, genera patologías como humedad, desmoronamiento del muro, entre otras. Por ello es imprescindible el tratamiento oportuno del revoque en edificaciones de adobe, una de las posibles soluciones se presenta a continuación:

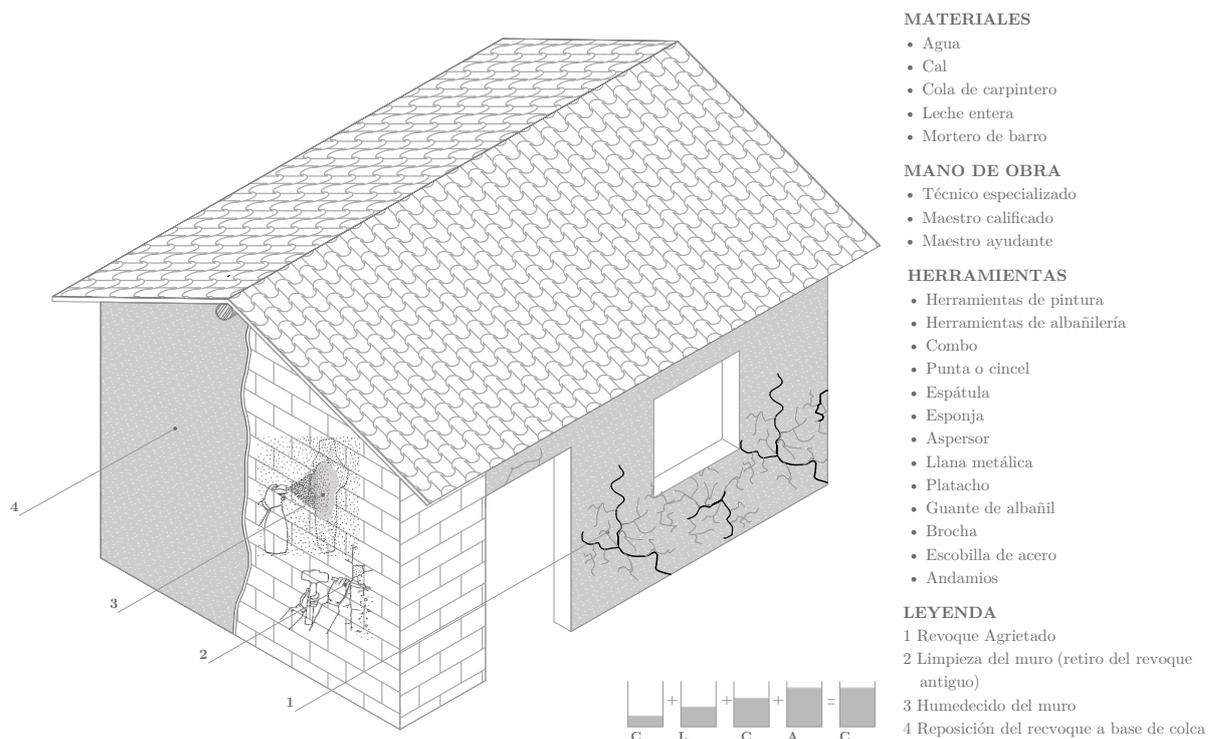


FIGURA 3.32: Reposición del revoque agrietado

Fuente: Cámara chilena de la construcción, 2012. Elaboración: Henry León

El trabajo a realizar en esta lesión consiste en retirar todo el revoque afectado con la ayuda de herramientas como espátula, punta, cincel, y un cepillo de acero con la finalidad de dejar completamente descubierta la mampostería de adobe, posteriormente se procede a humedecer la superficie del muro para mejorar la adherencia con la mezcla de colca compuesta por: una porción de cola blanca (poliacetato de vinilo), dos partes de leche, tres de cal y cuatro de agua, la misma que se aplicará con llana metálica para asegurar su

fijación a la mampostería y lograr un acabado homogéneo; para el terminado se aplica una superficie de revoque de tierra tamizada y arena fina en proporciones 1 : 2 respectivamente a la cual se puede añadir paja picada en una longitud de 5cm para mejorar sus propiedades de retracción y evitar el agrietamiento (Cámara chilena de la construcción, 2012).

Reparación de fisuras o grietas en muros con malla electrosoldada

Las fisuras o grietas se generan principalmente por solicitaciones mecánicas, al no haber un correcto confinamiento de la mampostería, por ausencia de una viga collar.

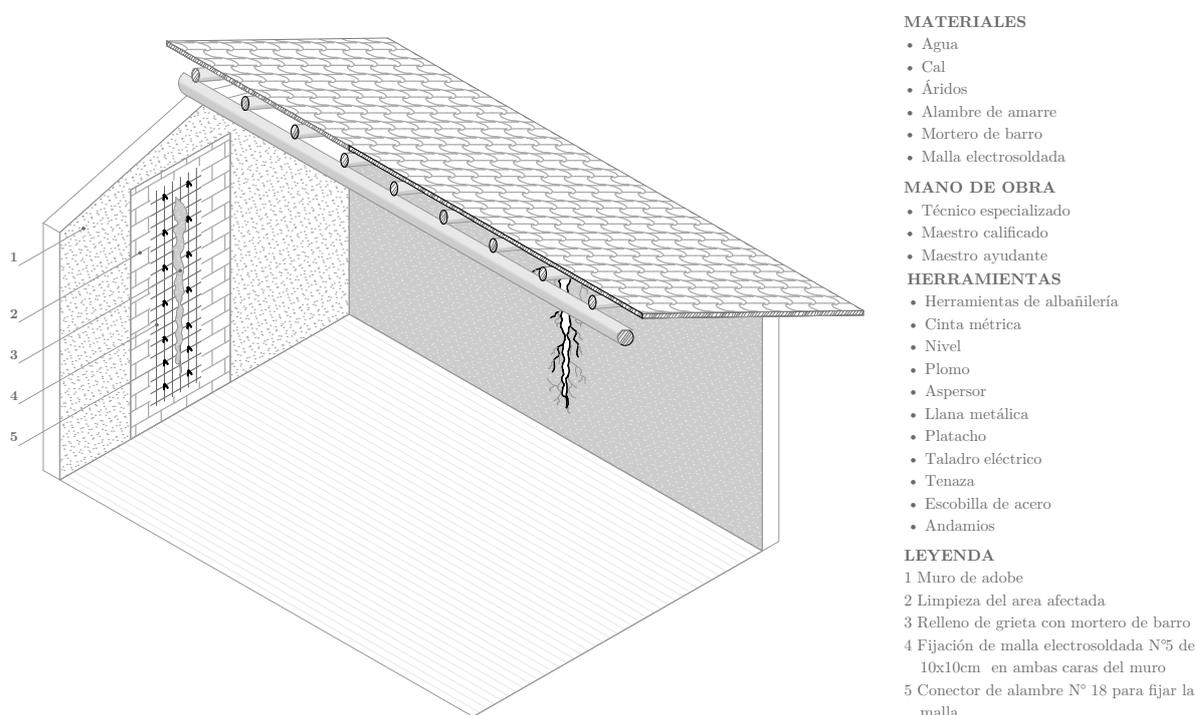


FIGURA 3.33: Reparación de fisuras o grietas con malla electrosoldada
Fuente: Cámara chilena de la construcción, 2012. Elaboración: Henry León

Para reparar estas fallas se debe marcar la zona afectada, y retirar todo el material suelto hasta dejar descubierta la mampostería de adobe para verificar la gravedad de la lesión, en caso de que la grieta comprometa el muro, se debe retirar el material dañado con la ayuda de una punta, cincel o espátula, luego se humedece la superficie del muro para posteriormente rellenar de la grieta con mortero de barro a base de colca. Una vez rellena la grieta se refuerza con malla electrosoldada R-196 de 5mm de diámetro con cuadros de 10x10 cm en ambas caras del muro, conectándolas con alambre de amarre N° 18 cada 30cm para el cual previamente se perfora en las juntas del muro con taladro y se instala la malla; se coloca el revoque hecho a base de tierra tamizada y arena fina en proporciones 1:2 respectivamente, a la cual se le puede añadir paja picada (5cm) (Cámara chilena de la construcción, 2012).

Reparación y refuerzo en encuentro de muros

Es común que se presenten fallas como grietas o desacoples en las uniones de los muros de adobe, esto se debe principalmente a la falta de amarre estructural en la edificación, provocando que ante solicitaciones mecánicas los muros se desacoplen o se fracture en la unión comportándose de forma independiente, poniendo en riesgo la estabilidad de la vivienda.

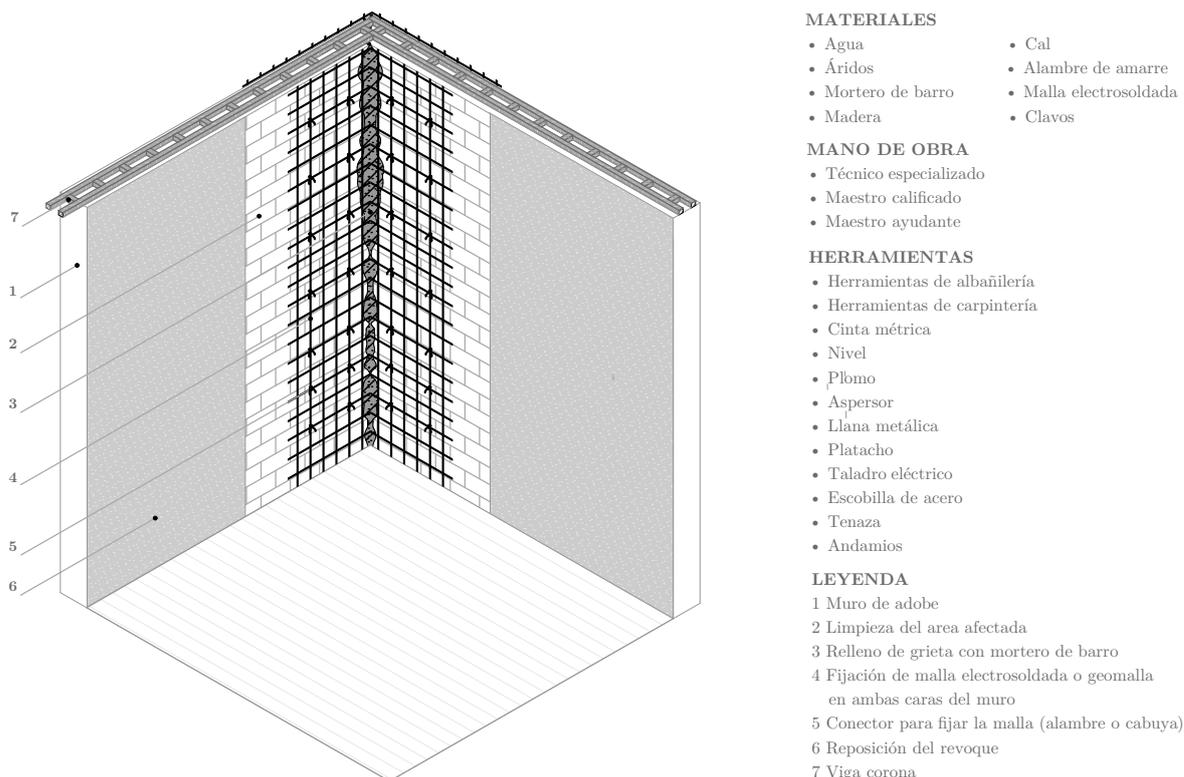


FIGURA 3.34: Reparación y refuerzo en encuentro de muros

Fuente: Cámara chilena de la construcción, 2012. Elaboración: Henry León

La solución para esta falla se plantea con el relleno de grietas con mortero de barro o la mezcla de colca, para el refuerzo se utiliza malla electrosoldada como una alternativa, para lo cual se debe retirar el revoque y el material suelto de la zona afectada mediante cincel, espátula y cepillo de acero en ambas caras, hasta dejar el muro completamente descubierto, luego se procede a humedecer la zona a reparar y se coloca la mezcla de colca antes descrita, posterior a esto se perfora el muro con taladro formando una cuadrícula de 30 x 30 cm tanto vertical como horizontalmente por donde pasará el alambre de amarre que sujetará la mallas que estarán colocadas en las dos caras del muro, una vez fijada la malla de refuerzo se aplica la capa de revoque de barro, se debe tener en cuenta que la mezcla para revestimientos tienen la finalidad de preservar al muro de agresiones de los agentes externos, y del agua; para ello se debe establecer una adecuada descodificación (González, 2015). En la Tabla 3.35 se presenta los componentes y la dosificación que debe contener el mortero para revoques.

COMPONENTES BÁSICOS DE LOS MORTEROS DE ARCILLA				
PRODUCTOS		arena	tierra	agua
TIPO		limpia, controlada y seleccionada	Arcillosa - con caolinita, illita, cuarzo, óxidos de hierro, etc.- Cantera	Limpia, potable
PROCEDENCIA		De río o cantera (calcárea o silíceo)	entorno inmediato a la obra (cimientos, movimientos de suelos)	Red de abastecimiento
			demoliciones	
			suelo arcilloso almacenado	
			arcilla predosificada envasada	
DOSIFICACIÓN		depende de base soporte pero de media 1:3 a 1:6		
CONSISTENCIA		blanda a plástica		
COMPONENTES DE CAPA DE REVOQUE SEGÚN SU APLICACIÓN	base	> 10 < 50 mm	granulometría > 0,6 mm < 4 mm	granulometría de áridos no puede ser mayor que la mitad del espesor de cada capa de revoque
	revque	> 2 < 8 mm	granulometría < 2 μ > μ	
	enlucido	> 0,5 < 2 mm	granulometría > 2 μ < 0,8 mm	

FIGURA 3.35: Componentes y dosificaciones básicas para morteros de arcilla
Fuente: Gonzales, 2015.

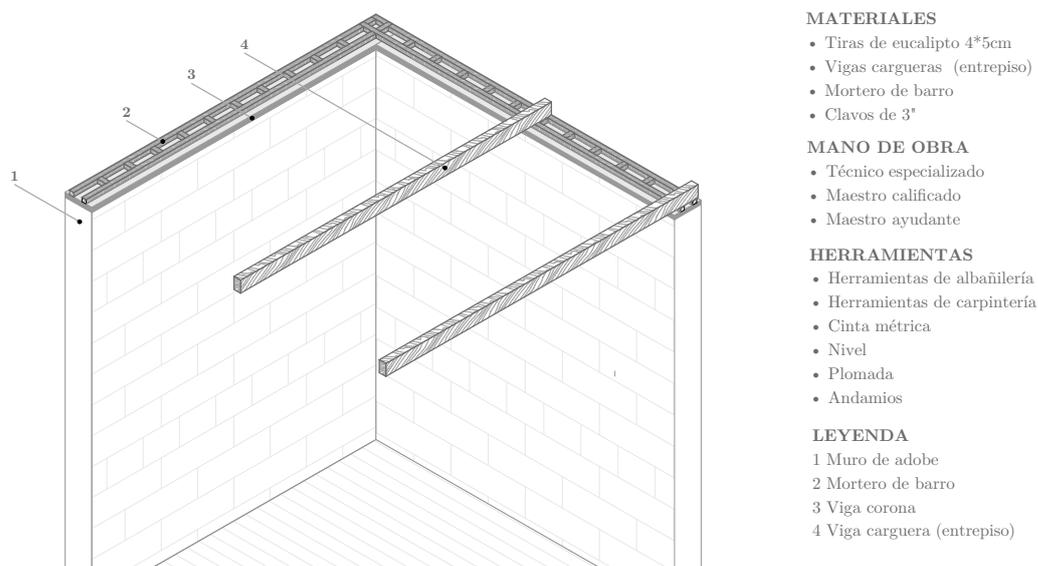


FIGURA 3.36: Construcción de viga corona
Fuente: Cámara chilena de la construcción, 2012. Elaboración: Henry León

La incorporación de una viga corona que distribuya las cargas que genera el entrepiso y cubierta es fundamental para lograr el confinamiento de los muros, con la finalidad de evitar el agrietamiento en los encuentros o apoyos de los muros de adobe garantizando la estabilidad de la estructura.

Una alternativa es elaborar la viga corona en forma de escalerilla con tiras de eucalipto

de 4*5cm, formada por dos elementos laterales conectados con piezas interiores cada 40cm, que servirán como anclaje al muro con la incorporación del mortero de barro, sobre la viga se asienta la estructura del entrepiso o de la cubierta distribuyendo de manera homogénea las cargas, y mejorando la comportamiento estructural ante un fenómeno sísmico.

Reparación de muros afectados por la presencia de animales

En el sector rural especialmente en las viviendas de tierra resulta habitual encontrar perforaciones en los muros debido a asentamientos de animales como roedores que horadan este tipo de muros con el fin de conformar sus madrigueras (Gomez et al., 2016). Estas patologías pueden llegar a debilitar la estructura de la vivienda por lo que es necesario la intervención temprana, para ello una alternativa de reparación es la incorporación de barreras de vidrio molido (Cámara chilena de la construcción, 2012).

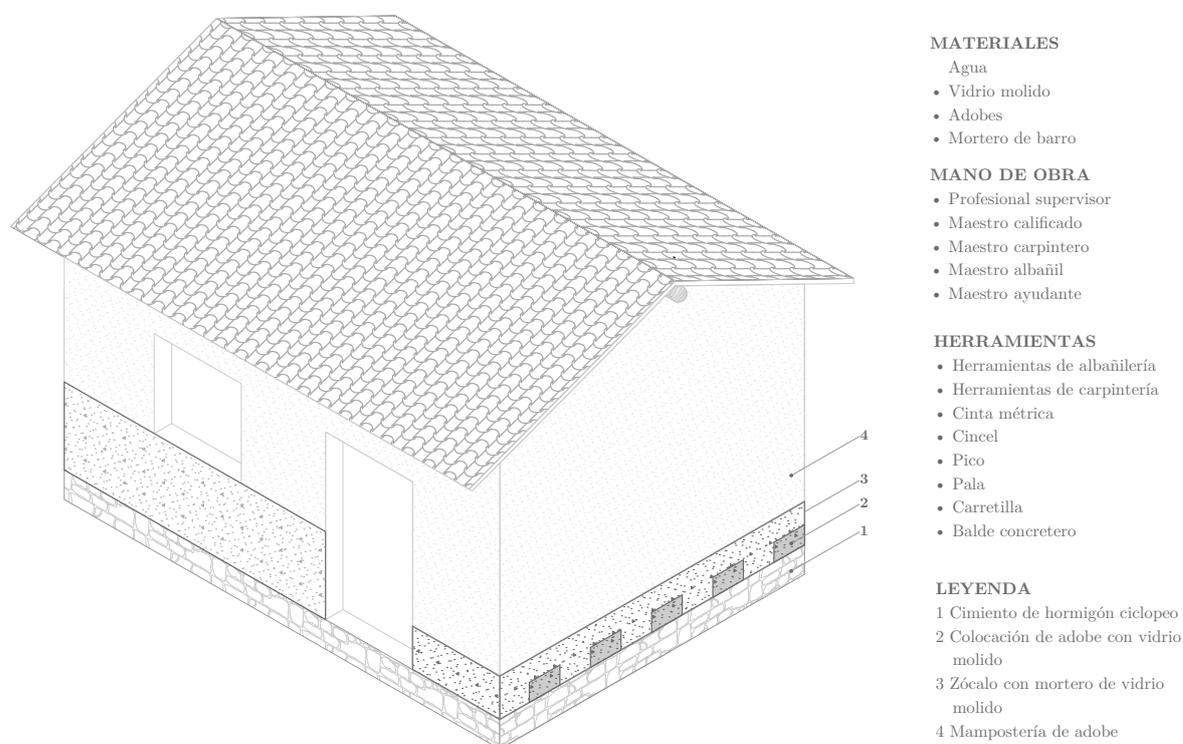


FIGURA 3.37: Barreras de vidrio molido en la base del muro

Fuente: Cámara chilena de la construcción, 2012. Elaboración: Henry León

Una alternativa de solución, es elaborar bloques de adobe incorporando 15 kg de paja y un 20% de vidrio molido por cada m³ de tierra, y se deja secar el adobe por 28 días, se demarca las zonas afectadas en forma alternada para no debilitar el muro, y se remueve con punta o cincel hasta quitar todo el material suelto, una vez limpio se coloca los nuevos adobes, finalmente se incorpora un zócalo de protección preferiblemente del mismo material que se elabora los adobes y se repite este proceso en todos los muros afectados.

Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

1. Las lesiones estructurales comunes en las viviendas analizadas corresponden a: DA.3 La humedad en la parte superior del muro, DC.2 agrietamiento masivo del revoque, DC.4 fisura o grieta vertical en el encuentro de muros, DC.7 Fisura o grieta originada a partir de los vanos, DE.1 Desprendimiento o erosión del revoque, DE.2 Desmoronamiento puntual en el muro, y DF.1 De animales en los muros.
2. La ausencia de una viga collar y una viga solera es otro factor presente en todas las edificaciones analizadas, que perjudica la estructura de la vivienda ya que no cuenta con elementos de amarre perimetral y la cubierta se asienta directamente sobre los muros de adobe.
3. Para que una edificación de adobe sea sismo resistente debe cumplir con criterios de diseño como: espesor de los muros ($e \geq 40$ cm), longitud del muro ($L \leq 10e$), dimensión de los vanos ($1/3$ de la longitud del muro) la altura ($h = 6e$) y debe contar con un sobrecimiento de por lo menos 30cm de altura.
4. La estabilización del adobe es fundamental para lograr que los muros sean resilientes y mejoren su comportamiento mecánico para ello la dosificación del barro debe ser 14 % de arcilla, 22 % de limo, 62 % de arena y 2 % de grava, se puede utilizar estabilizadores como fibras vegetales incorporando de 20 a 30 kg por m³, cal y puzolana entre el 3 a 14 % por peso seco dependiendo del contenido de arcilla, otro estabilizador es el cemento portland, se recomienda añadir el 5 % por volumen en seco, también se puede agregar melaza de caña en un 5 % del peso del suelo.
5. Los sistemas de refuerzo sísmico con geomallas, elementos de madera o malla electro soldada han demostrado tener un buen comportamiento ante sollicitaciones mecánicas, mejorando la resistencia de los muros en los que se ha aplicado; como el caso del proyecto GTZ-CERESIS-PUCP en el Perú, las viviendas reforzadas soportaron sismos de magnitud 8.4.
6. En los resultados obtenidos de la simulación sísmica mediante el software SCAD ++ se demostró que el refuerzo con malla electro soldada de diámetro de 5mm y una separación de 10cm entre sus intersecciones, absorbe los esfuerzos de tracción y

disminuye los de compresión, la estructura se rigidiza levemente disminuyendo las deformaciones hasta 3 mm, soportando un sismo de magnitud 7.5 en el epicentro para el que fue diseñado, similar al ocurrido el 16 de abril del 2016 en Ecuador, cumpliendo con los objetivos planteados.

7. Mediante la simulación se demostró que en el modelo sin refuerzo lo más desfavorable del adobe es su trabajo a tracción, ya que es lo primero que falla al aplicar las cargas sísmicas. Con la aplicación de la malla los esfuerzos de tracción se eliminan ya que son absorbidos por el refuerzo liberando los muros de las cargas, sin embargo existen elementos sometidos a compresión como los vanos que van a fallar debido a la baja resistencia del adobe, lo cual exige refuerzos adicionales.

4.2. Recomendaciones

1. El escaso conocimiento por parte de los profesionales en Ecuador en el tema del comportamiento mecánico y los mecanismos de falla del adobe, no debe eximir el uso de tecnologías sísmo resistentes, motivo por lo que se recomienda difundir y aplicar los conceptos y metodologías de las investigaciones que se han realizado.
2. La importancia de la difusión de tecnologías de construcción en adobe, reducirá los márgenes de falla de las viviendas de adobe reduciendo los índices de desastres causados por fenómenos sísmicos.
3. Se recomienda seguir profundizando en la investigación de sistemas constructivos que mejoren las características físico mecánicas de los muros de adobe, con el fin de reducir los efectos post terremotos.
4. Los resultados obtenidos en esta investigación en base a la simulación sísmica de el refuerzo con malla electrosoldada son favorables sin embargo existen elementos que deben ser profundizados como el comportamiento a compresión del adobe y los refuerzos en los vanos.

5

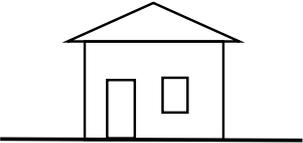
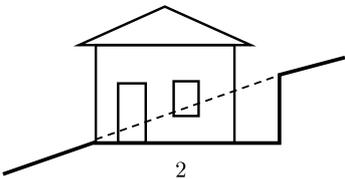
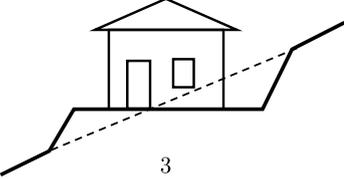
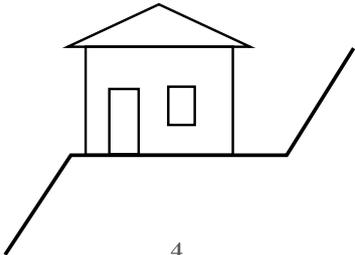
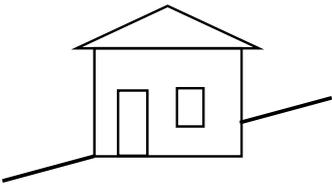
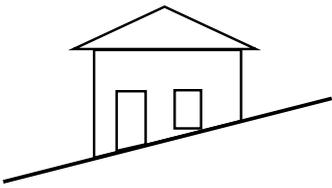
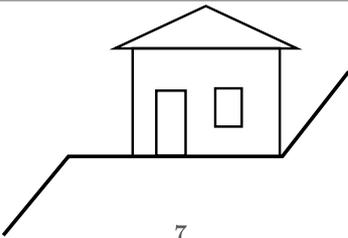
Anexos

5.1. Anexo 1

EVALUACIÓN GENERAL DEL INMUEBLE					
A. IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE					
Propietario				C.I.	
Tipo de bien (vivienda, bodega, etc.):				Teléfono.	
Ubicación				E-mail	
Comunidad					
Cantón					
Provincia					
Antigüedad en años:					
Posición georreferenciada			Este:	Altitud:	
			Norte:		
Sistema constructivo	Configuración	Espesor del muro	Tamaño del bloque visible	Elementos de madera u otros	
Adobe					
Mixto					
Observaciones					
B. IDENTIFICACIÓN DE ZONA DE RIESGO					
(Presas, lechos de río, quebradas, acequias, etc.); asentamientos colindantes con el terreno y/o construcciones (deslaves de talud, fallas geológicas, subsuelo inestable, cables de alta tensión, árboles, ductos, etc.); otros.					
B.1 AFECTACIONES EXTERNAS					
A		El terreno NO colinda con zona de riesgo.			
B		El terreno SI colinda con zona de riesgo.			
B.2 TIPOS DE AFECTACIÓN EXTERNAS					
	SI	NO	AFECCIÓN	ESTADO DE PROTECCIÓN	
				BUENO	MALO
1			Corriente natural o artificial de agua (río, canal, estero, etc.)		
2			Extensión de agua estancada (laguna, lago, humedal, etc.)		
3			Zona de deslizamientos o de riesgo de deslizamiento.		
4			Falla geológica		
5			Otros (especificar).		

C. EVALUACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

Identificar el esquema que se asemeja al emplazamiento del inmueble analizado

1	2	3	4	5	6	7
						
1	2	3				
						
4	5	6				
						
	7					

C.1. CALIDAD DEL SUELO

Tipo de terreno en el que se emplaza la edificación

<input type="checkbox"/>	Roca	<input type="checkbox"/>	Suelo compacto	<input type="checkbox"/>	Suelo arenoso	<input type="checkbox"/>	Suelo arcilloso
<input type="checkbox"/>	Otro (especificar)						

Observaciones

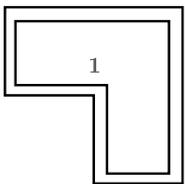
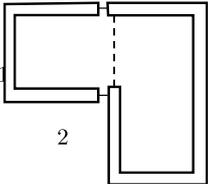
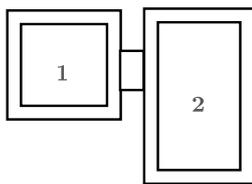
D. CONDICIONES DEL INMUEBLE

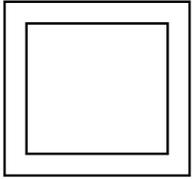
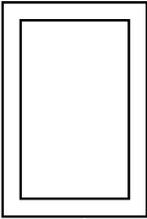
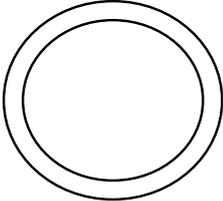
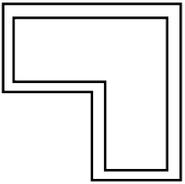
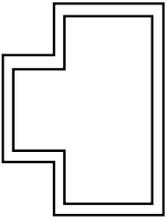
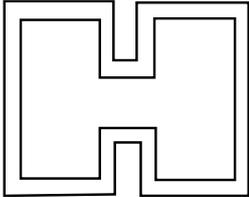
D.1. TIPOLOGÍA

<input type="checkbox"/>	Aislada	<input type="checkbox"/>	Adosada	<input type="checkbox"/>	Fachada continua
<input type="checkbox"/>	Otros (especifique)				

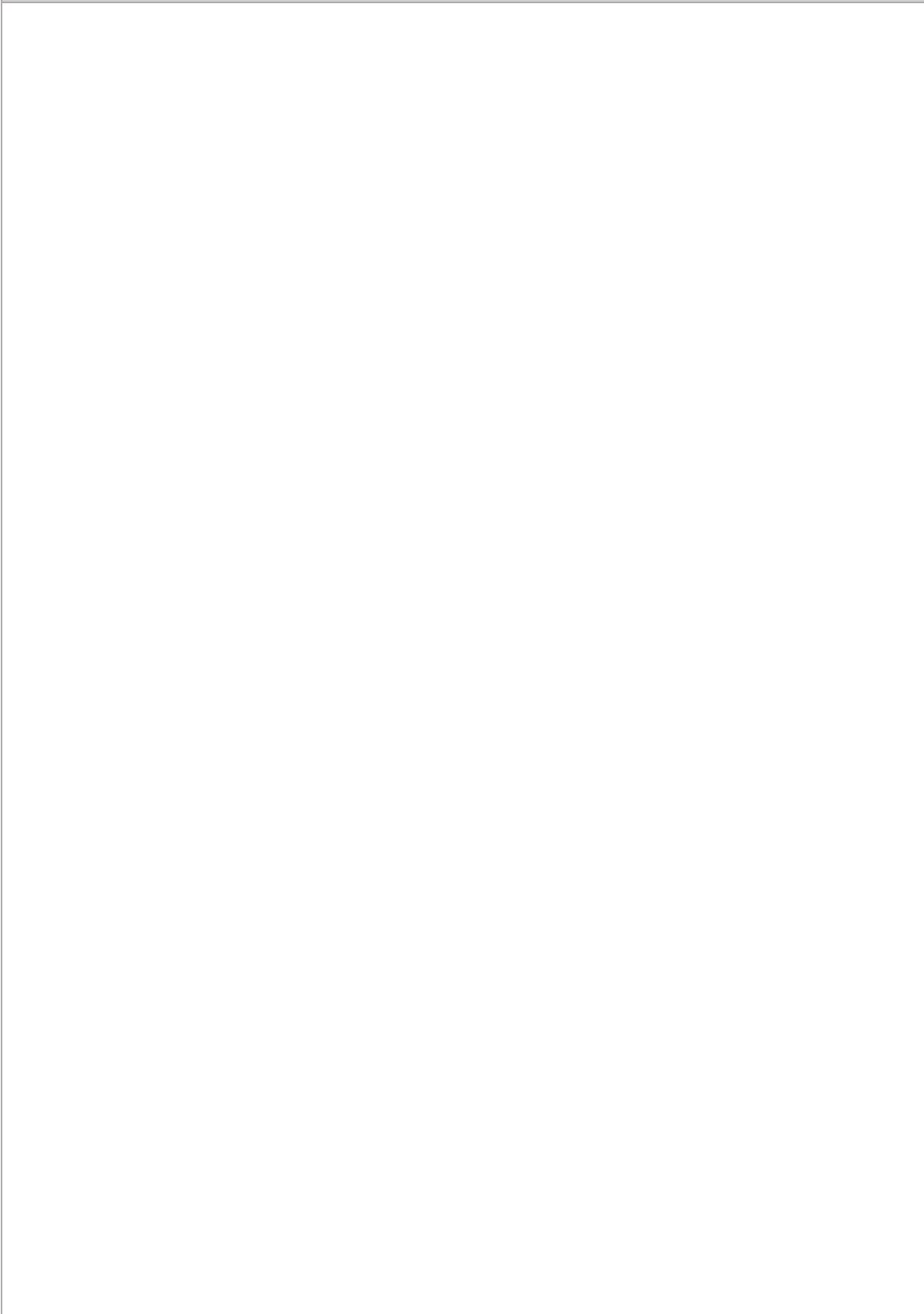
Observaciones

D.2. COMPOSICIÓN MODULAR DEL INMUEBLE

Un módulo	Dos módulos	Dos módulos
		
1	2	1 2

D.3. MORFOLOGÍA DEL MÓDULO					
Planta					
1	2	3	4	5	6
 1		 2			 3
 4		 5			 6
OTROS (especifique)					

D.4. DIBUJE EL ESQUEMA DEL EMPLAZAMIENTO DEL INMUEBLE
(ubicar todos los elementos relevantes del entorno)



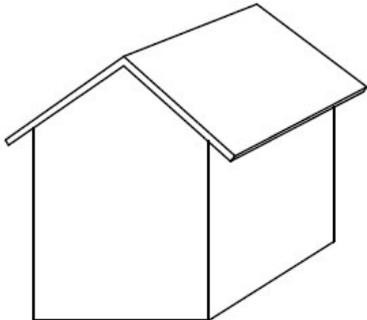
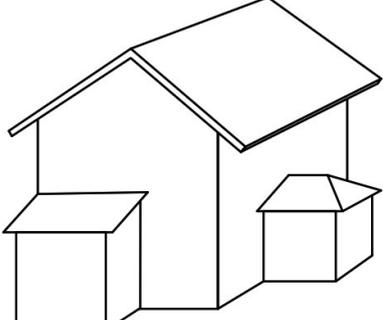
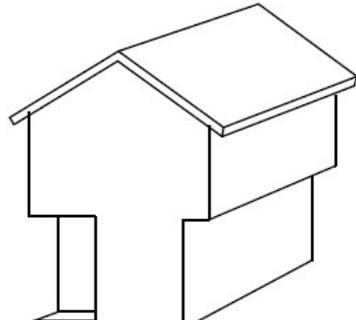
E. NÚMERO DE PISOS

Indique el número de pisos del módulo

1 piso		2 pisos		3 pisos	
--------	--	---------	--	---------	--

F. VOLUMEN

Indique la figura que se asocia de mejor manera al módulo evaluado

1	2	3
		

En caso de un módulo irregular, indique el tipo y cantidad de irregularidades presentes.

Irregularidad	Balcones	Voladizos	Construcciones hechizas
Cantidad			
Otros (especificar)			

G. INFRAESTRUCTURA

Indique cuál de los siguientes esquemas representa de mejor manera el estado actual d módulo analizado (puede seleccionar 2 a la vez)

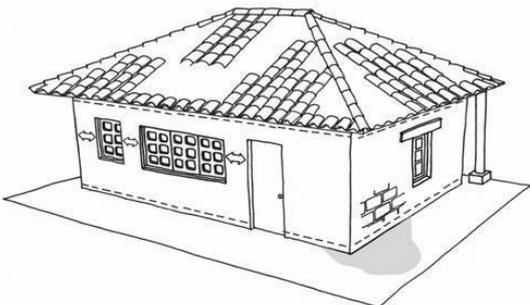
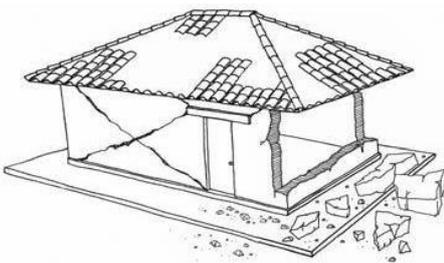
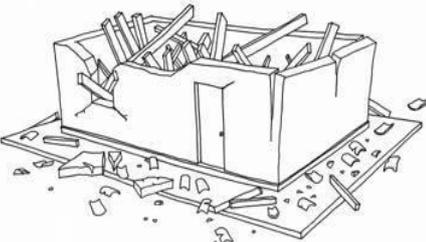
1	2	3	4
 <p>No se detectan daños o daños superficiales</p>	 <p>Deformaciones y agrietamientos en la estructura del módulo</p>	 <p>Daños profundos en la estructura del módulo</p>	 <p>Colapso del inmueble</p>

Fig. 1 NO SE DETECTAN DAÑOS O DAÑOS SUPERFICIALES.

	Cantidad	DAÑOS
1		NO cuenta con una cadena perimetral en la parte superior de los muros.
2		NO cuenta con un zócalo.
3		La distancia entre vanos (como puertas y/o ventanas) son muy reducidas (menor a 1m).
4		La distancia entre vanos y las esquinas son muy reducidas (menor a 1m).
5		Los vanos (como puertas y/o ventanas) son muy grandes en proporción al inmueble (mayor a
6		Los muros son muy delgados en proporción al inmueble (menos de 30cm).
7		Apoyos de dinteles muy cortos (menos de 40cm)
8		Aleros de cubierta muy cortos
9		Cubierta apoyada directamente en los muros
10		Pilares de corredor deformados o en mal estado
11		Juntas verticales sin mortero y las horizontales con espesores mayores a 15mm
12		No existe protección contra humedad del suelo

Fig. 2 AGRIETAMIENTOS Y DEFORMACIONES EN LA ESTRUCTURA DEL MÓDULO

1		Piso deteriorado y presenta asentamientos
2		Humedad en la parte inferior de los muros
3		Muros agrietados
4		Pérdida de recubrimiento de muros
5		Pérdida de aplomo de los muros (inclinación) (indicar porcentaje)
6		Separación de muros perpendiculares en las esquinas
7		Cubiertas deformadas o desprendimiento de sus partes
8		Vegetación, musgos y líquenes en muro, tabique o techumbre.

Fig. 3 DAÑOS PROFUNDOS EN LA ESTRUCTURA DEL MÓDULO

1		Falla del muro con agrietamiento horizontal en la parte inferior o a una altura media, y agrietamientos verticales adicionales.
2		Falla del muro con agrietamiento vertical en la zona central, agrietamiento diagonal y fisuras en la parte superior.
3		Desvinculación de muros o esquina libre fracturada.
4		Agrietamiento diagonal en la parte inferior del muro
5		Agrietamiento del muro en X
6		Falla por esfuerzos de la cumbre y/o tímpano.

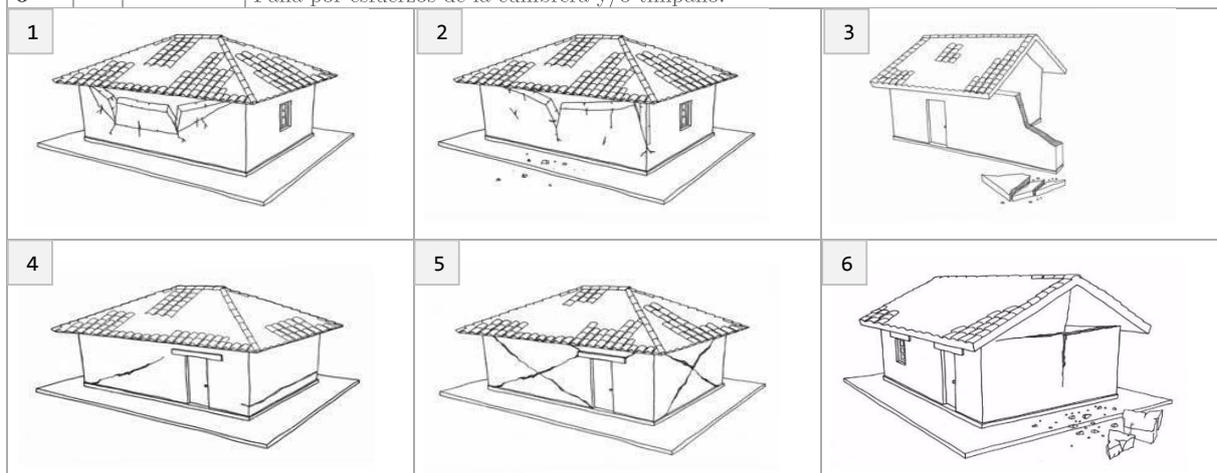


Fig. 4 COLAPSO GENERAL DEL INMUEBLE

	Cantidad	
1		Falla generalizada de la techumbre.
2		Caída de la techumbre hacia el interior del inmueble.
3		Falla generalizada del del muro

H. RESUMEN DEL INFORME

Lined area for the summary of the report.

I. INFORMACION DEL EVALUADOR

INFORME ELABORADO POR:

PROFESIÓN:

E-mail:

TELEFONO:

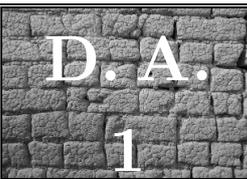
FECHA DE LA EVALUACIÓN:

PROPIETARIO DEL INMUEBLE:

Signature lines for the Evaluator and the Property Owner.

FIRMA DEL EVALUADOR

FIRMA DEL PROPIETARIO

RESILIENCIA CONSTRUCTIVA DE MUROS EN VIVIENDAS DE ADOBE		HUMEDAD		GRAVEDAD		ELEMENTO	
		DAÑO		LEVE			
		HUMEDAD EN LA PARTE INFERIOR DEL MURO O TABIQUE		MODERAD		AREA AFECTADA	
				SEVERO			
DESCRIPCIÓN				CAUSA			
_____				_____			
_____				_____			
_____				_____			
_____				_____			
_____				_____			
DAÑOS ASOCIADOS	HUMEDAD EN ZONAS PUNTUALES DE MURO O TABIQUE.						
	ASENTAMIENTO DE CIMIENTO Y/O SOSOBRECIMIENTO.						
	ASENTAMIENTO DE PISO.						
	DEFORMACIÓN DE LA PARTE INFERIOR DE MURO.						
POSIBLES SOLUCIONES	CONTENCIÓN DE LADERA EN EL ENTORNO DE LA EDIFICACIÓN.						
	CONSTRUCCIÓN DE DRENAJE PERIFÉRICO EXTERIOR.						
	REPOSICIÓN DE LA BASE DEL MURO						
	CONFECCIÓN DE TABIQUE SANITARIO.						

Referencias

- Achig, M. C., y Abad, L. (2015). Aplicación del sistema para evaluar el estado constructivo en muros de adobe. *SIACOT ECUADOR*, 15, 298–310.
- AEN/CTN, C. t. (2008). *UNE 41410. Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo*.
- Agüero, J., Cerón, J., Gonzáles, J., y Méndez, M. (2015). Análisis estructural de dos muros de adobe con diferente sistema de aparejo. *Tierra, Soc. comunidad. Semin. Iberoam. Arquít. y Construcción con Tierra (15º SIACOT)*, 1–11. Descargado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6085978>
- Aguilar, y Quezada, R. A. (2017). *Caracterización física y mecánica del adobe en el Cantón Cuenca* (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca.
- Aguilar, Z. (2016). Analisis de peligro sísmico y estimado del movimiento sísmico de diseño. , 2–18.
- Albarracín¹, O., Saldivar, M., Libardi, L. G., y Navarta, G. (2014). Reforzamiento de estructuras de adobe con mallas metálicas. (November), 1-11.
- Blondet, M., Vargas, J., y Tarque, N. (2015). Casas Sismorresistentes Y Saludables De Adobe Reforzado Casas Sismorresistentes Y. , 64.
- Blondet, M., Vargas, J., Tarque, N., y Iwaki, C. (2011). Construcción sismorresistente en tierra: la gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica del Perú. *Inf. la Construcción*, 63(523), 41–50. Descargado de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1251/1336> doi: 10.3989/ic.10.017
- Blondet, M., Villa, G., y Brzev, S. (2003). Construcciones de adobe resistentes a los terremotos. *Encicl. Mund. Vivienda del EERI/IAEE*, -(SI), 25. Descargado de http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2011/06/Adobe_{ }Tutorial_{ }Spanish_{ }Blondet.pdf
- Calderón, J. C. (2013). *Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia* (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Catalunya.
- Carazas, W. (2002). Guía de construcción parasísmica. *CRATerre-EAG*, 37.
- Cevallos, P. (2015). La Construcción con tierra en el Ecuador y la necesidad de la Norma. *15º Siacot-Ecuador*, 631–642.
- Cid, J., Mazarrón, F. R., y Cañas, I. (2016). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Inf. la Construcción*, 63, 159–169. doi: 10.3989/ic.10.011
- Cámara chilena de la construcción, C. (2012). *Evaluación de daños y soluciones para construcciones en tierra cruda* (1.ª ed.). Santiago de Chile.
- Dávila, R. (2011). Sismología. *Posgrado en ciencias de la tierra, Centro de Geociencias*(1), 1–36.
- Elgueta, H. A. (2013). Arquitectura popular de la comuna de San José de Maipo, riesgo del patrimonio y de la identidad cultural. , 26(2), 80–89.
- Escamirosa, L. F., Ocampo, M. d. L., y Arroyo, R. (2014). Reforzamiento estructural en vivienda tradicional de adobe de Chiapa de Corzo, Chiapas. *Espac. I+D, Innovación más Desarro.*, III(6), 21.
- Espinoza, P. A., y Ruilova, C. R. (2014). *Uso de geomallas y elementos de madera en la restauración de muros de adobe* (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca.

- Frogheri, D., Meneses, C., y Estévez, A. T. (2017). Morfologías resilientes : Desde lo digital a la materia. *Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital*.
- GAD del Cantón Nabón. (2008). Plan de Ordenamiento Territorial de la comunidad de Charqui.
- Gomez, F., Mileto, C., Vegas, F., y García, L. (2016). Arquitectura en tierra cruda. *XIII CIATTI 2016. Congr. Int. Arqit. Tierra, Tradic. e Innovación Valladolid*, 169–180. Descargado de <http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones.html>
- González, A. M. (2015). *REVOCOS DE TIERRA CRUDA : Especificaciones técnicas para el empleo de morteros preparados de arcillas en construcción TESIS DOCTORAL* (Tesis doctoral). Universidad de Sevilla.
- Hernández, F. A. (2016). *Intervención post terremoto en edificaciones de adobe con protección patrimonial: análisis comparativo de tres casos en Chile post terremoto 2010: Chépica, peralillo y zúñiga* (Tesis de Master no publicada). Universitat Politècnica de Catalunya.
- Lara, L. (2017). Patología de la construcción en tierra cruda en el área andina ecuatoriana. *AUC*, 38, 31–41.
- Lopez, J. (2017). Resiliencia.
- Martins, C. M., Faria, O., Rotondaro, R., Cevallos, P., y Hoffman, M. (2009). Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra. *Proterra*, 34. Descargado de <http://www.redproterra.org>.
- Mena, U. (2002). *Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2010). *Edificaciones antisísmicas de adobe*.
- Ministerio de vivienda, c. y. s. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones*.
- Ministerio de vivienda, c. y. s. (2017). *Norma E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada*. Descargado de http://procurement-notices.undp.org/view_{_}file.cfm?doc_{_}id=109376
- Minke, G. (2001). Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra. *Laboratorio de investigación para la construcción experimental*, 3, 52.
- Minke, G. (2005). Manual de Construcción en-Tierra, La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual. , 2, 222.
- New Zealand Technical Committee and others, J. A. (1998a). NZS 4298 (1998): Materials and workmanship for earth buildings. Materials and workmanship for earth buildings. *Stand. New Zeal.*.
- New Zealand Technical Committee and others, J. A. (1998b). NZS 4299 (1998): Earth buildings not requiring specific design [Building Code Compliance Documents. *Stand. New Zeal.*, 4299, 131.
- Norma ecuatoriana de construcción, N. (2015). *NEC-11, Capítulo 10, Vivienda de hasta dos pisos con luces de hasta 4.0m .*
- NTE E.080. (2000). Reglamento nacional de construcciones norma técnica de edificación NTE E.080.
- Ottazzi, G., Yep, J., Blondet, M., Villa, G. M., y Ginocchio, J. (2006). Ensayos de simulación sísmica de adobe. *Dep. Ing.*, 01(89), 18.
- Pesántes, M., y González, I. (2011). *Arquitectura tradicional en Azuay y Cañar*. Descar-

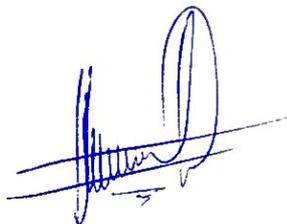
- gado de <http://issuu.com/inpc/docs/arquitectura/1?e=0>
- Quinde, P., y Reinoso, E. (2016). Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca. , *26*(94), 1–26.
- Quispe, J., y Rondón, S. (2012). *Propuesta integral de reforzamiento para edificaciones de adobe. aplicación al caso de un local escolar de adobe en la provincia de Yauyos* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Rotondaro, R. (2012). Influencia de la innovación tecnológica en las tradiciones constructivas y proyectuales. el caso de la arquitectura de tierra contemporánea del noa. *Seminario de Crítica*, *180*, 1–35.
- San Bartolomé, A. F., y Quiun, D. R. (2012, 04). Comportamiento sísmico de viviendas de adobe en los terremotos del 2001 y 2007 en Perú. , 1-9.
- SENCICO. (2017). Norma técnica Peruana E.080 diseño y construcción con tierra reforzada. *Reglamento Nacional para Edificaciones..* Descargado de http://procurement-notices.undp.org/view_{ }file.cfm?doc_{ }id=109376
- Stulz, R., y Mukerji, K. (1993). *Materiales de construcción apropiados, catálogo de soluciones potenciales* (1.ª ed.; S. C. suizo de cooperación para el desarrollo en tecnología y gestión), Ed.). St.Gallen.
- Tolles, E. L., Kimbro, E. E., y Ginell, W. S. (2005). Guías de planeamiento e ingeniería para la estabilización sismorresistente de estructuras históricas de adobe. *Revista del Instituto Americano para la Conservación*, *39*, 160.
- Torres, C., y Jorquera, N. (2018). Técnicas de refuerzo sísmico para la recuperación estructural del patrimonio arquitectónico chileno construido en adobe. *Informes de la Construcción*, *70*(550).
- Yamin, L. E., Phillips, C., Reyes, J. C., y Ruiz, D. (2007). Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada. *Apuntes: Revista de estudios sobre patrimonio cultural*, *20*(2), 286–303.
- Yamin, L. E., Rodríguez, Á. E., Fonseca, L. R., Reyes, J. C., y Phillips, C. A. (2003). Comportamiento sísmico y alternativas de rehabilitación de edificaciones en adobe y tapia pisada con base en modelos a escala reducida ensayados en mesa vibratoria. *Revista de ingeniería*(18), 175–190. Descargado de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true{&}db=fua{&}AN=20066160{&}lang=es{&}site=ehost-live> doi: <http://dx.doi.org/10.16924%2Friua.v0i18.492>
- Yuste, B. (2009). *Arquitectura de tierra: caracterización de los tipos edificatorios* (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Cataluña.
- Zegarra, L., San Bartolomé, A., Quiun, D., y Giesecke, A. (1997). *Reforzamiento de las viviendas de adobe existentes en la costa y sierra*. Lima.
- Zelaya, V. A. (2015). *Estudio sobre diseño sísmico en construcciones de adobe y su incidencia en la reducción de desastres* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Federico Villarreal.



**PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL**

Yo, **Henry Eduardo León Ordoñez** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0106586035. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Resiliencia constructiva de los muros en edificaciones de adobe. Caso de estudio Comunidad de Charqui, Nabón, Azuay”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 30 de agosto de 2019


F:
Henry Eduardo León Ordoñez
C.I. 0106586035