



Universidad de Cuenca

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

Manual para la aplicación de sistemas de reforzamiento en construcciones de tierra cruda - adobe

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Arquitecto

Autores:

Paul Esteban Valdez Durán

David Esteban Vinueza Cordero

Director:

Xavier Ricardo Cárdenas Haro

ORCID:  [0000-0001-5063-7366](https://orcid.org/0000-0001-5063-7366)

Cuenca, Ecuador

2024-07-30

Resumen

Los sismos son uno de los fenómenos naturales que más daños ocasionan alrededor del mundo, llegando a afectar edificaciones o incluso en los casos más graves a provocar pérdidas humanas. En Ecuador se pierden varias edificaciones al año a causa de los sismos, siendo las construcciones en tierra las más afectadas.

Entre las estructuras de tierra más comunes, se encuentran las de adobe, este es uno de los materiales más antiguos utilizados en el ámbito de la construcción, que incluso hasta el día de hoy se lo emplea, aunque en menor medida. Es un material vernáculo, ecológico y que es parte de la identidad de los pueblos del Ecuador y de varios sitios en el mundo. Sin embargo, al ser un material no tan resistente y que necesita un mayor mantenimiento, en comparación a los materiales contemporáneos, se ha ido perdiendo el interés de emplear su sistema constructivo, y por ello, la mano de obra calificada para ejecutarlo.

Es por esto que el presente estudio se ha enfocado en desarrollar un manual de sistemas de reforzamiento para muros de tierra cruda - adobe. En el que se ha indagado en las técnicas más estudiadas por investigadores de universidades e instituciones, y que se han implementado, obteniendo resultados favorables en ensayos de resistencia estructural. Además, se ha considerado las técnicas que menor impacto tendrán sobre la identidad vernácula de la edificación. Como resultado de ello, se ha obtenido un manual que abarca el procedimiento paso a paso, además de ilustraciones claras que permiten al usuario comprender y ejecutar el sistema de una manera correcta, evitando y previniendo daños futuros causados por sismos, factores ambientales o por el paso del tiempo en las edificaciones.

Palabras claves del autor: arquitectura vernácula, adobe, sistemas de reforzamiento, manual de construcción

Abstract

Earthquakes are one of the natural phenomena that cause the most damage around the world, affecting most buildings or even, in the most serious cases, causing human losses. In Ecuador, several buildings are lost every year due to earthquakes, with earth-made constructions being the most affected.

Among the most common earth-made houses are those made of adobe, a mixture of mud and straw. This is one of the oldest materials used in construction and still used nowadays, although on a smaller scale. It is a vernacular, ecological material that is part of the identity of the people of Ecuador and of several places in the world. However, since it is not as resistant and needs more maintenance, compared to contemporary materials, the interest in using its constructive system has been lost, and therefore the skilled labor to execute it.

For this reason, the present study is focused on developing a Manual of Reinforcement systems for raw earth - adobe - walls. In this research we have investigated the most studied techniques by several researchers from universities and institutions, in addition to the ones that have been implemented, obtaining favorable results in structural resistance tests. We have also researched the techniques that will have the least impact on the vernacular identity of the building. As a result, we have obtained a clear and comprehensive manual, that covers the step-by-step procedure of a reinforcement system, which contains illustrations that allow the user to understand and execute it correctly, avoiding and preventing future damages caused by earthquakes, environmental factors, or the passage of time in the buildings.

Author keywords: architecture, reinforcement systems, manual of construction, adobe

Índice de contenidos

Agradecimientos.....	10
Dedicatoria.....	11
Introducción general.....	12
0.1. Antecedentes:.....	12
0.2. Problemática:.....	12
0.3. Justificación:.....	13
0.4. Objetivo general:.....	13
0.5. Objetivos específicos:.....	13
Capítulo I: Aproximación a la construcción en tierra.....	14
1.1 Introducción.....	15
1.2 Historia de la construcción en tierra en el mundo.....	17
1.3. Las edificaciones de tierra en Ecuador.....	19
1.4. El adobe como material de construcción.....	23
Capítulo II: Generalidades de las edificaciones en tierra cruda - adobe.....	27
2.1 Introducción.....	28
2.2 Proceso constructivo de las edificaciones de tierra cruda-adobe.....	29
2.2.1. Selección y obtención del material.....	29
2.2.2. Elaboración del adobe.....	32
2.2.3. Proceso constructivo de los elementos estructurales.....	35
2.2.3.1. Cimentación.....	35
2.2.3.2. Sobrecimientos.....	35
2.2.3.3. Muros.....	36
2.2.3.4. Cubierta.....	42
2.2.3.5. Revoque y empañetado.....	43
2.3. El comportamiento sísmico en las edificaciones en tierra cruda - adobe.....	43
2.3.1. Sismicidad en el Ecuador.....	47
2.4. Principales patologías y daños en las construcciones de tierra cruda - adobe.....	51

2.4.1. Principales patologías en las construcciones en adobe.....	52
2.4.1.1. Patologías producidas por acción de agentes atmosféricos.....	52
2.4.1.2. Patologías producidas por acción de factores biológicos.....	54
2.4.1.5. Patologías producidas por malas prácticas constructivas.....	56
2.4.2. Principales daños en las construcciones en adobe.....	61
2.4.2.1. Cambios superficiales.....	61
2.4.2.2. Degradación y desprendimiento.....	62
2.4.2.3. Fisuras y grietas.....	63
2.4.2.4. Deformación.....	64
2.5. Aproximación a los sistemas de reforzamientos en edificaciones de tierra cruda - adobe.....	65
Capítulo III: Sistemas de reforzamiento para construcciones de tierra cruda - adobe.....	68
3.1. Introducción.....	69
3.2. Análisis de los sistemas de reforzamiento a implementar en el manual.....	70
3.2.1. Cuerdas o drizas.....	70
3.2.2. Geomallas.....	72
3.2.2.1. Geomallas uniaxiales.....	74
3.2.2.2. Geomallas biaxiales.....	75
3.2.2.3. Geomallas triaxiales.....	77
3.2.3. Malla metálica.....	80
3.2.3.1. Malla metálica de simple torsión.....	82
3.2.3.2. Malla metálica de triple torsión.....	82
3.2.3.3. Plancha de acero malla.....	82
3.2.3.4. Malla metálica con tejido sencillo.....	82
3.2.3.5. Malla electrosoldada.....	83
3.2.4. Tiras de <i>nylon</i>	87
3.2.5. Maderas de confinamiento.....	87
3.2.6. Cañas de refuerzo.....	88
3.2.7. Tensores de acero.....	89

3.3. Manual de sistemas de reforzamiento.....	92
Conclusiones y recomendaciones.....	92
Líneas futuras de investigación:.....	94
Referencias bibliográficas:.....	95
Anexos.....	99

Índice de figuras

Figura 1: Vivienda tradicional de adobe.....	16
Figura 2: Bóvedas, templo de Ramses II. Egipto.....	18
Figura 3: Ciudadela de Chan-Chan. Perú.....	18
Figura 4: Vivienda de adobe española. Castilla.....	18
Figura 5: División geográfica de las viviendas de tierra cruda en Ecuador.....	20
Figura 6: Vivienda tradicional en adobe. Ecuador.....	21
Figura 7: Vivienda contemporánea en adobe. Quito-Ecuador.....	22
Figura 8: Casa Lasso. San José-Ecuador.....	23
Figura 9: Elaboración de los bloques de adobe.....	24
Figura 10: Bloques de adobe.....	24
Figura 11: Ensayo caída de la bola.....	31
Figura 12: Ensayo Granulométrico.....	32
Figura 13: Ensayo de la plasticidad.....	32
Figura 14: Proceso de secado de los bloques de adobe.....	33
Figura 15: Prueba de resistencia para ladrillos de adobe.....	34
Figura 16: Proceso de batido del barro.....	34
Figura 17: Proceso de moldeado de los adobes.....	35
Figura 18: Cimentación y sobrecimiento.....	36
Figura 19: Detalle constructivo, proceso para la construcción de edificaciones de adobe.....	36
Figura 20: Posibles soluciones plantas irregulares.....	38
Figura 21: Criterios de la configuración de construcciones de adobe.....	39
Figura 22: Hiladas y trabas en la construcción del muro.....	40
Figura 23: Tipos de amarres de encuentro entre muros de adobe.....	41
Figura 24: Viga Collar.....	42
Figura 25: Enchancado o cama de carrizo.....	42

Figura 26: Proceso constructivo de cubierta de madera.....	43
Figura 27: Ubicación inadecuada para una edificación.....	44
Figura 28: Vivienda de adobe afecta por un terremoto. Chile.....	46
Figura 29: Identificación zonas sísmicas en Ecuador, número de viviendas construidas en tierra.....	48
Figura 30: Descripción de los 5 mecanismos de fallo en edificaciones de uno y dos pisos.....	48
Figura 31: Matriz de daño en edificaciones de una y dos plantas, considerando los 5 tipos de fallos y las diferentes variables de aceleración.....	50
Figura 32: Mapa conceptual: Principales patologías en las construcciones de adobe.....	52
Figura 33: Problemas de erosión.....	54
Figura 34: Daños provocados por acción vegetal.....	55
Figura 35: Vivienda de adobe con cubierta de <i>eternit</i> e incorporación de cemento.....	58
Figura 36: Vivienda de adobe con vigas de hormigón.....	59
Figura 37: Muros no trabados en adobe.....	59
Figura 38: Vivienda de adobe con ausencia de mantenimiento.....	60
Figura 39: Mapa conceptual: Principales daños en las construcciones de adobe.....	61
Figura 40: Crecimiento biológico en muro de adobe.....	62
Figura 41: Erosión de muro de adobe.....	63
Figura 42: Grietas en muro de adobe.....	63
Figura 43: Desplome de muros de adobe.....	65
Figura 44: Sistema de drizas o cuerdas.....	70
Figura 45: Vivienda reforzada con drizas.....	71
Figura 46: Sistema de drizas, nudo.....	72
Figura 47: Geomallas.....	73
Figura 48: Geomalla Uniaxial.....	74
Figura 49: Uso de geomallas uniaxiales.....	75
Figura 50: Geomallas Biaxiales.....	76
Figura 51: Geomalla biaxial en muro.....	77
Figura 52: Geomallas triaxiales.....	78
Figura 53: Aplicación geomalla triaxial.....	78

Figura 54: Tipos de geomallas.....	79
Figura 55: Mallas metálicas.....	81
Figura 56: Elaboración de mallas metálicas.....	82
Figura 57: Malla metálica de simple torsión.....	83
Figura 58: Malla metálica de triple torsión.....	83
Figura 59: Plancha de acero malla.....	83
Figura 60: Malla electrosoldada.....	84
Figura 61: Colocación y recubrimiento malla metálicas en muro.....	85
Figura 62: Mallas electrosoldadas esquineras.....	86
Figura 63: Sistema de maderas de confinamiento.....	87
Figura 64: Procedimiento sistema de refuerzo de cañas.....	88
Figura 65: Sistema con tensores de acero.....	89
Figura 66: Perfiles de acero.....	90
Figura 67: Unión de tensores y perfiles.....	90
Figura 68: Ensayo de muros con tensores de acero.....	91

Agradecimientos

Primeramente, a Dios.

Agradecemos a nuestros padres, familiares y amigos por su constante apoyo, comprensión y ánimo durante esta etapa de nuestra vida. Su amor y aliento fueron la principal motivación para superar los desafíos y alcanzar nuestras metas.

También, agradecemos sinceramente a nuestro director de tesis y amigo, Ing. Xavier Cárdenas, por su orientación, apoyo y dedicación durante todo el proceso de investigación. Sus conocimientos y consejos fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. A nuestros profesores y docentes que con su esfuerzo y dedicación nos han impartido sus conocimientos que serán las bases para nuestro futuro profesional.

Finalmente, queremos agradecer a todas las personas que de alguna manera contribuyeron a la realización de este trabajo, aunque no estén mencionadas aquí. Su colaboración fue invaluable y se refleja en el resultado final de este trabajo de grado.

Dedicatoria

A mis padres Gerardo y Mónica, a mis hermanos Karla y Juan José, a mi familia y amigos cercanos que han sido de apoyo tanto dentro y fuera de la institución y que han sido parte fundamental para alcanzar este logro.

- **Paúl Esteban**

A mis padres, Mauricio y Carmita, por su amor incondicional y constante apoyo a lo largo de mi vida y carrera universitaria. Este logro también es suyo. A mis hermanos, Mauricio y Doménica quiénes me han apoyado durante todo este camino. Además, a mi familia y amigos que siempre han tenido palabras de aliento y motivación.

De igual manera, a todas las personas a las que este trabajo de grado pueda servir.

- **David Esteban**

Introducción general

0.1. Antecedentes:

La construcción en tierra se ha desarrollado durante mucho tiempo, la población ha utilizado este material para edificar sus viviendas, que al ser construidas de forma empírica y mediante autoconstrucción, pueden presentar fallas o patologías y daños que ponen en riesgo a la población que ahí habita. En Ecuador muchas viviendas en tierra se encuentran en riesgo de colapso por encontrarse en una zona altamente sísmica, al encontrarse en el cinturón de fuego del pacífico, por lo que es necesario que estas edificaciones sean reforzadas. Actualmente, no existe un manual de reforzamiento en tierra cruda - adobe; se ha encontrado métodos de reforzamiento, pero no una compilación de estos y sobre todo que expliquen de forma clara cómo es el proceso para su implementación.

0.2. Problemática:

La tierra es uno de los materiales más utilizados históricamente en la construcción, se utiliza en la elaboración de muros, como un material de recubrimiento, en la fabricación de pinturas, entre otros. Esto es debido a su durabilidad, fácil acceso a la materia prima, costos asequibles y su baja conductividad térmica, que aporta principalmente en climas fríos.

Al ser un material frágil, este tiende a presentar problemas estructurales y patologías con el paso del tiempo. Es por ello que se requiere de un estricto control al momento de su aplicación y en su futuro mantenimiento, pérdidas parciales o totales de la edificación.

En nuestro medio, la construcción vernácula está elaborada principalmente con tierra, estas construcciones son vulnerables ante las actividades sísmicas, factores ambientales y el paso del tiempo. Se debe tener en cuenta que muchas de ellas se consideran edificaciones patrimoniales, por lo que se busca implementar sistemas de

reforzamiento que permitan su conservación, para así prolongar la vida útil de estas edificaciones, dotando además de seguridad estructural para protegerlas ante las eventualidades naturales propias de los sitios donde se emplazan.

0.3. Justificación:

En el mundo gran cantidad de personas habitan en viviendas de adobe, por lo que es necesario implementar sistemas de reforzamiento que precautelen la integridad de las edificaciones y de sus usuarios.

Se pretende generar un documento que permita aplicar, de forma clara, sistemas de reforzamiento en construcciones de tierra cruda - adobe. Generalmente, estas edificaciones se realizan mediante autoconstrucción, por lo que es necesario un documento que permita conocer como reforzar las construcciones de adobe, para así poder frenar en gran medida su deterioro, prevenir accidentes, e incentivar la

construcción con este sistema constructivo y así reforzar la identidad cultural de la región.

0.4. Objetivo general:

Desarrollar un manual para la aplicación de sistemas de reforzamiento en construcciones de tierra cruda - adobe.

0.5. Objetivos específicos:

- a) Investigar sobre el sistema constructivo en adobe, sus patologías y los principales elementos de su sistema constructivo.
- b) Indagar sobre sistemas de reforzamiento para edificaciones de tierra y su proceso constructivo.
- c) Realizar un manual de procedimientos constructivos que permitan el entendimiento de los sistemas de reforzamiento.



C.01

**Aproximación a la construcción
en tierra**

1.1 Introducción.

La tierra ha sido un material predominante en la construcción y muy utilizado a través del tiempo, se ha usado en casi todos los climas cálidos-secos y templados alrededor del mundo. En la actualidad este material sigue siendo empleado para la construcción de viviendas, principalmente en países en vías de desarrollo (Minke, 2001).

La tierra es uno de los materiales más abundantes que se encuentran en el mundo, además es un material que se puede obtener directamente del sitio donde se requiere utilizarlo.

Las cualidades que la tierra puede brindar como material de construcción son mayores a los elementos industrializados como el hormigón, el acero y el ladrillo, que tienen altos consumos energéticos tanto para su fabricación como para su transporte, haciendo que su huella de carbono o de impacto ambiental, y su costo sean altos, así mismo que su adaptabilidad sea baja. Además, a diferencia de los materiales industrializados, las construcciones de tierra

resaltan la identidad cultural de las civilizaciones originarias, pues conservan características y técnicas vernáculas, es por ello que son consideradas como una parte invaluable dentro de cada nación. "La tecnología de la 'tierra cruda', entre ellas el adobe es considerada como óptima desde el punto de vista del equilibrio y protección del medio ambiente por ser poco agresiva, si el tratamiento para la construcción es el adecuado, constitutiva de soluciones útiles para resolver las necesidades habitacionales en medios rurales, e identificatoria de segmentos específicos de períodos históricos de la arquitectura, se presenta como una parte insustituible del patrimonio de la Humanidad" (Chiappero, 2003).



Figura 1: Vivienda tradicional de adobe.

Moz, Z. (2021). Casa de adobe [Fotografía]. Recuperado de <https://www.archdaily.pe/pe/photographer/zaickz-moz/page/2>

Algunas de las ventajas que presentan las construcciones en adobe es que su manipulación es sencilla, por lo que facilita la autoconstrucción de viviendas (siempre y cuando se sigan los criterios y normas técnicas de construcción en tierra) con las denominadas *mingas* en las que generalmente participan maestros de obra, familiares y jornaleros locales; estas edificaciones comúnmente se realizan sin el requerimiento de

equipos sofisticados, profesionales técnicos, entidades gubernamentales e incluso normas de sismo-resistencia, sin embargo, estas deben ser implementadas para precautelar la vida de sus habitantes, sobre todo en países con alta actividad sísmica. Además, este tipo de construcciones, no requieren créditos formales como préstamos o pólizas, más bien utilizan los recursos que tienen a su disposición, siendo estos: su tiempo, fuerza de trabajo y recursos naturales que encuentran en el propio sitio o son provistos en la localidad. Adicionalmente, estas edificaciones permiten satisfacer las necesidades específicas de cada hogar y se pueden ir adaptando con el paso del tiempo, ahora bien, cuando se utilizan correctamente, son estéticamente agradables y resaltan la identidad cultural del sitio donde se emplazan (Salas, 1987).

1.2 Historia de la construcción en tierra en el mundo.

Los arqueólogos que se han encargado de indagar sobre las civilizaciones antiguas han revelado que existe una semejanza constructiva en todo el mundo. Se ha encontrado una forma de arquitectura independiente y única en cada región del planeta, que tiene en común la utilización de un material duradero y sólido como es la tierra.

A través de las estructuras antiguas que han perdurado con el tiempo, se puede conocer la historia constructiva y asumir que las técnicas de construcción en tierra han sido pioneras de muchas de las civilizaciones. Se cree que las primeras comunidades utilizaron el material para la construcción de pequeños refugios y viviendas (Gatupalli, 2022).

Aunque según Minke “En Asiria fueron encontrados cimientos de tierra apisonada que datan del 5000 a.C. Todas las culturas antiguas utilizaron la tierra no solo en la construcción de viviendas, sino también en fortalezas y obras religiosas” (Minke, 1994).

Varias obras importantes alrededor del mundo han sido construidas con tierra, teniendo algunos ejemplos en Egipto, como las bóvedas del templo mortuario de Ramses II, construido en adobe hace más de 3000 años (ver figura 2) o La Gran Muralla China, que se construyó hace más de 4000 años con tierra apisonada, y posteriormente fue enchapada con piedra. En América se tiene el centro de la Pirámide del Sol en Teotihuacán, México, que está edificado con el uso de dos millones de toneladas de tierra apisonada y que fue construida entre los años 300-900 d.C. En Sudamérica, en la época precolombina, la mayor parte de construcciones fueron en tierra, especialmente en adobe. “Se sabe que el adobe se utilizó en América del Sur desde antes de la llegada de los españoles y que ellos no son sus introductores” (INPC, 1986, como se citó en Orellana, 2017). Uno de los grandes sitios arqueológicos que lo evidencian es la ciudad de Chan-Chan, Perú (ver figura 3), la cual se encuentra construida con muros de adobes sobre cimientos de piedra.



Figura 2: Bóvedas, templo de Ramses II. Egipto

Egiptoforo. (2005). *Bovedas Ramses Egipto* [Image]. Recuperado de <https://www.egiptoforo.com/fotos/showphoto.php/photo/2432>



Figura 3: Ciudadela de Chan-Chan. Perú

Southamericaexploor. (s.f.). *Entrada ciudad de Chan Chan* [Fotografía]. <https://www.southamericaexploor.com/trujillo/ciudadela-de-chan-chan/>.



Figura 4: Vivienda de adobe española. Castilla.

Bilbao, M. (2009). *Calle Real, vivienda de adobe* [Fotografía]. <https://www.alamy.es/calles-real-image60712731.html?imageid=0B9FA937-C65C-463D-83B6-6F947C0D560E&p=104623&pn=1&searchId=b49085f2949f787b47ca440ebff6c67f&searchtype=0>

Durante la colonia, con la llegada de los españoles, las técnicas indígenas existentes se fueron modificando, estas se fueron acoplando y se adecuaron a las innovaciones tecnológicas introducidas con los conocimientos hispano-árabes, "... los constructores coloniales andinos ligaban en su trabajo la sabiduría adquirida de las prácticas indígenas prehispánicas, el conocimiento arquitectónico académico de Europa y las tradiciones europeas

arquitectónicas vernáculas" (Ross Jamieson. 2003). Entre estas nuevas técnicas se introdujeron: el uso de nuevas herramientas, la distribución del espacio en las edificaciones y la inclusión de sistemas estructurales desconocidos en ese tiempo en nuestra región, tales como los arcos, bóvedas y cúpulas, y los sistemas de apoyo como son los refuerzos de esquina y los contrafuertes. Con el tiempo se implementaron nuevos materiales, que junto con el adobe crearon grandes templos, catedrales y construcciones de gran envergadura. "Dada la influencia romana, árabe y musulmana que tenía la arquitectura española, la cal y el ladrillo se incorpora a la construcción en estos territorios" (Ver figura 4) (INPC, 2011).

1.3. Las edificaciones de tierra en Ecuador.

"El uso del adobe data desde la época Cañari y es una técnica que utiliza la tierra y la paja como materia prima" (El tiempo, s.f. como se citó en CRESPIAL, 2018). La diferencia del adobe cañari y el contemporáneo podría radicar en que esta civilización los modelaba a mano, tal como realizaban sus cerámicas. Las naciones indígenas ecuatorianas, bajo la

dominación de los incas, ya conocían el derecho de propiedad, cada familia se establecía en una parcela de tierra, que también la trabajaba para cultivar alimentos, pues ya conocían los límites de sus tierras. Se indica que "Las casas se construían ordinariamente de tierra en las poblaciones interandinas, empleando como material de construcción para las paredes el adobe, al que le sabían dar consistencia, mezclando y amasando el barro con paja" (González Suárez, 1890). Por lo que se evidencia que la construcción en tierra ya se realizaba previo a la época precolombina. Con la llegada de los españoles a América y con ello a las tierras de lo que actualmente es Ecuador, se puede precisar conforme relatan los cronistas que: "los sistemas constructivos con que se encontraron en la parte andina era el bahareque (entramado), el adobe como técnicas en tierra, y la construcción en piedra, destacándose la de piedra sillar. Por lo tanto, se encontraron con técnicas familiares a las de Europa" (INPC, 2011). Estas técnicas constructivas en tierra era la alternativa rápida para brindar cobijo y resguardo a la

población, posteriormente con el uso de nuevas herramientas de trabajo mejoraron evidentemente dichos métodos.

Según el último censo realizado por el INEC en 2010 en su Censo de Población y Vivienda 2010, cerca del 6% de viviendas en Ecuador tiene muros de adobe o tapial en su construcción, esto debido a que gran parte de las personas opta por tecnologías constructivas contemporáneas como el hormigón, que abarca el 10% en las viviendas, o el ladrillo y bloque que abarca la mayoría de viviendas, con cerca del 70%. (INEC, 2010). (Ver figura 5) Ahora bien, generalmente las viviendas de hormigón, ladrillo y bloque son construidas con asistencia técnica, mientras que las viviendas con otras técnicas constructivas, se realizan mediante autoconstrucción.

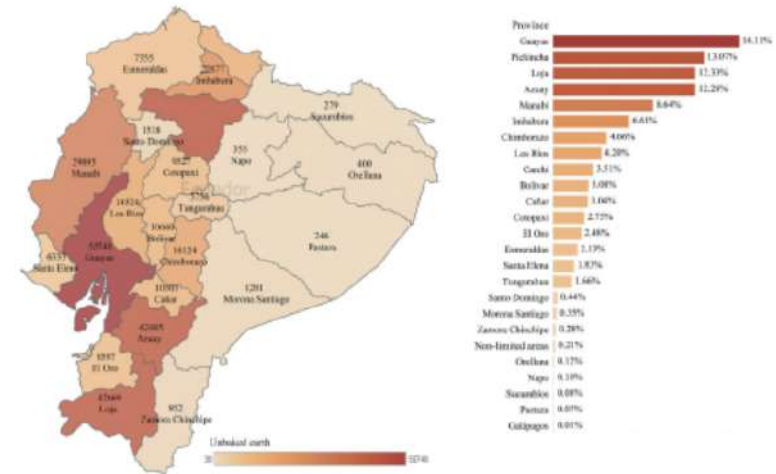


Figura 5: División geográfica de las viviendas de tierra cruda en Ecuador.

Cárdenas, X., & Tarque, N. (2021). *Loss Estimation for Typical Adobe Façades of Cuenca (Ecuador) Due to Earthquake Scenarios* [Imagen]. <https://www.tandfonline.com/loi/uarc20>

Muchas de estas construcciones en adobe se encuentran en centros históricos, donde se han preservado este tipo de edificaciones que datan de épocas previas a la llegada de sistemas constructivos contemporáneos; pero también gran parte de estas construcciones se encuentran en zonas periféricas, debido a la segregación social, pues pertenecen

a sectores de la población con bajos ingresos, y con ello se ha generado una desvalorización de las construcciones en tierra. “Hoy en día la desvalorización por la pieza de adobe es un problema para la futura preservación del patrimonio en tierra. Así como el resto de técnicas constructivas (tapial, bahareque), el adobe es importante para preservar la cultura arquitectónica en tierra. Sin embargo, la sociedad lo cataloga de malo, frágil y lo vinculan con el término pobreza al momento de elegirlo como material para la construcción de sus viviendas” (Ávila, et al., 2022).



Figura 6: Vivienda tradicional en adobe. Ecuador.

Es por esta misma segregación social, según lo que nos indica la revista INVI que: “la población rural se ha desplazado a los centros urbanos en busca de oportunidades laborales, y con ello se ha generado un déficit de vivienda urbano-marginal, esto sucede también por la elevación de los costos de construcción de viviendas con materiales convencionales. Esta situación lleva a buscar alternativas de vivienda más económica, que mejore la calidad de vida de la población y provea seguridad al

usuario que las habita, pues se pretende disminuir los costos de construcción sin sacrificar la calidad de la vivienda" (Ceballos, 1992).

Así pues, todavía se encuentran este tipo de edificaciones con técnicas tradicionales y tecnologías propias, pero todavía es importante continuar con la investigación para brindar seguridad a los usuarios que habitan estas edificaciones de tierra.

Actualmente, en el Ecuador se ha optado por la construcción de viviendas contemporáneas de tierra con el fin de hacerlas más sustentables, buscando así un mínimo impacto ambiental y perdurando las tradiciones de las construcciones vernáculas en el país. Para ello, se han combinado varios materiales como el vidrio, el acero, la madera, con los muros de tierra, haciendo una construcción más duradera y funcional.



Figura 7: Vivienda contemporánea en adobe. Quito-Ecuador

Zuñiga, J. (2013). Vivienda de adobe en Quito [Fotografía].
<https://noticias.arq.com.mx/Detalles/17230.html>



Figura 8: Casa Lasso. San José-Ecuador.

Jag Estudio. (2019). Casa Lasso/Rama Estudio [Fotografía].
<https://www.archdaily.cl/cl/910992/casa-lasso-rama-estudio>

1.4. El adobe como material de construcción.

“Los bloques de barro producidos a mano relleno de moldes con barro y secados al aire libre se denominan adobes” (Ver figura 9) (Minke, 2001).

El adobe es una antigua técnica de construcción, que consiste en bloques macizos de tierra seca. Generalmente, son producidos a mano, compuestos por una mezcla de barro (arcilla y arena) agua y paja, esta última ayuda a evitar problemas de grietas al momento del secado de los bloques. El proceso de elaboración de los adobes consiste en mezclar los materiales mencionados hasta formar una masa homogénea que será vertida en moldes para dar forma a los ladrillos. Finalmente, son naturalmente secados con el sol (sin necesidad de hornos) por varias semanas antes de su uso en la construcción.

Al igual que la piedra, este material de construcción ha sido usado por miles de años en la edificación de viviendas y otras estructuras. Incluso en estos días el adobe sigue siendo popular en muchas partes del mundo, especialmente en

zonas rurales y desérticas. Aunque las técnicas y materiales utilizados para hacer el adobe han evolucionado con el tiempo, el proceso básico sigue siendo el mismo.



Figura 9: Elaboración de los bloques de adobe.

Ingeniería Real. (s.f.). *Elaboración de bloques de adobe* [Imagen].
https://ingenieriareal.com/ladrillos-adobe/#google_vignette



Figura 10: Bloques de adobe.

Portillo, G. (2019). *Elaboración de bloques de adobe* [Fotografía].
<https://www.renovablesverdes.com/que-es-el-adobe/>

A pesar de las grandes ventajas que tiene el material, también existen algunas limitaciones, como su resistencia ante los sismos, la baja resistencia a la humedad y su susceptibilidad a la erosión. "El adobe es higrófilo, tiende a absorber la humedad atmosférica cuando el aire está saturado, de manera que por ello pierde su resistencia a los esfuerzos, aun los de su propio peso" (Pons, s.f.). Además, debido a que el adobe es un material poroso, es indispensable protegerlo frente a agentes climáticos como la

lluvia y la humedad para evitar el deterioro. En la actualidad en algunos casos se agrega al adobe, una emulsión de asfalto, cemento Portland o cal o en parte de Latinoamérica se usa jugo de cactus fermentado para mejorar las propiedades de impermeabilización.

Es por eso, que al ser un material sostenible para la construcción, se han desarrollado técnicas de refuerzo y protección para mejorar la durabilidad y seguridad de las edificaciones hechas en tierra para así prevenir un posible colapso frente a actividades sísmicas.

Como indica Jackie Craven en su artículo: *All About Adobe - Sustainable and Energy Efficient*. Aunque el material por sí mismo es naturalmente inestable, un muro de adobe puede cargar grandes pesos, ser autosustentable y ser eficiente energéticamente. Los muros de adobe usualmente son gruesos, pueden ser mínimo de 40 cm, de 60, 90 o 120 centímetros de ancho (dependiendo de la altura y peso de la edificación), tiene propiedades térmicas y forman un aislamiento natural que lo hace ideal para los climas cálidos

o fríos, manteniendo el interior de las edificaciones fresco durante el día y cálido por la noche. En países más desarrollados los bloques comercializados son secados en hornos disminuyendo el tiempo de elaboración, un bloque tradicional de adobe necesita alrededor de un mes en ser secado bajo el sol antes de su uso. Si el bloque es mecánicamente comprimido, la mezcla de adobe necesita menos humedad haciendo que el ladrillo pueda usarse casi de inmediato, estos son llamados 'ladrillos de tierra comprimida' (Craven, 2006).

La fuerza y resistencia del adobe varía según su contenido de agua, mucha de ella puede debilitar el bloque. El adobe presenta una baja resistencia a la compresión y a la tracción. "Sus resistencias a la compresión son bajas (de 3 a 5 kg/cm²) cuando está seco y pueden considerarse nulas a los esfuerzos de tracción" (Pons, s.f.), por estas características su manejo se vuelve más compleja, los adobes tienden a quebrarse al no ser curados adecuadamente, y podrían no

resistir su manejo al momento de ser colocados en el sitio donde se emplaza la vivienda.

Una de las características del adobe es su poca elasticidad, una vez que se deforma el bloque de adobe al estar expuesto a una fuerza, no recupera su forma. Sin embargo, una vez que las paredes y los elementos arquitectónicos son contruidos y teniendo en cuenta de que las fuerzas aplicadas no sobrepasen la resistencia del material, la estructura en conjunto presentará gran firmeza.

De igual manera, una de las ventajas en la construcción con adobe es que la fuerza de trabajo del hombre ha sido significativamente disminuida por el uso de equipos y herramientas que, además, favorecen las cualidades técnicas de este sistema (Neves, 2011). Se trata, por otra parte, de un material con un valor de ignición de F-180, lo que significa que puede soportar el fuego durante 180 minutos sin arder (Siavichay, 2010). Desde el punto de vista económico, la accesibilidad del material y a la facilidad de

su construcción lo convierten en un recurso asequible para un amplio sector de la humanidad.

Además, se afirma que el adobe ofrece gran variedad de posibilidades constructivas por su gran plasticidad: es muy fácil cortar y de darle contornos, y es óptimo para realizar bóvedas, cúpulas y viviendas irregulares o circulares (Minke, 1994).

En conclusión, el adobe es un material noble que se ha utilizado por mucho tiempo en varias civilizaciones, llegando incluso a implementarse en varias obras importantes alrededor del mundo. Pero así mismo, actualmente su uso ha ido decayendo, debido a que requiere mayor mantenimiento que otros materiales contemporáneos y presenta resistencias bajas ante fuerzas de compresión y tensión. Sin embargo, se han ido estudiando métodos para aumentar la resistencia de los muros de adobe con el fin de proporcionar construcciones más seguras y prolongar su uso, para así aprovechar las ventajas que brinda como material.



C.02

**Generalidades de las edificaciones
en tierra cruda - adobe**

2.1 Introducción.

La construcción en tierra está arraigada a nuestro país y su cultura, además constituye parte valiosa del patrimonio cultural, material e inmaterial. Muchas construcciones en adobe han perdurado al paso del tiempo, el clima y movimientos sísmicos sin sufrir daños significativos. Pero así mismo estas construcciones en adobe han sido la causa de pérdidas de vidas humanas, puesto que y como nos indica el Manual de construcción de viviendas de adobe "... la técnica tradicional de construcción con adobe se ha perdido y se la utiliza en forma empírica y sin asistencia técnica" (Morales, R., et al., 1993).

En este capítulo se pretende analizar el proceso constructivo de las edificaciones en adobe, iniciando desde la selección de la tierra hasta la generación de una estructura habitable, y así mismo los sistemas de reforzamiento que este dispone.

Gran parte de edificaciones en adobe se construyen con ciertos elementos comunes, estos conforman construcciones que tienen un comportamiento estructural que difiere de los

sistemas convencionales en ladrillo, bloque u hormigón. Por ello es indispensable analizar estas estructuras, para conocer en profundidad si la forma en la que han sido construidas es la correcta, cómo interactúan frente a las condiciones meteorológicas y físicas de su medio, y a eventualidades como sismos y terremotos.

De esta forma se puede encontrar cuáles son los principales errores al momento de la construcción, fallas estructurales usuales, patologías y daños que sufre el adobe como material de construcción y cómo un sistema de reforzamiento puede favorecer a muchas de estas situaciones. Además, cómo estos permiten prolongar la vida útil de las edificaciones, en menor o mayor medida, permitiendo que se propicie la conservación de estas estructuras, o incluso aumentando el tiempo de evacuación en la que una familia pueda salir de su vivienda que se encuentra en peligro de colapsar.

2.2 Proceso constructivo de las edificaciones de tierra cruda-adobe.

El proceso constructivo de las edificaciones de tierra cruda depende del lugar en donde se emplazará la edificación, debido a que existen diferentes normas y modos de construir en cada región del mundo. Esto dependerá del tipo de suelo, la actividad sísmica, el clima, cultura y tradiciones.

La presente tesis se enfoca en el modo de construcción usada en América Latina, especialmente en nuestro medio. Debido a que en nuestro país no cuenta con una norma propia de construcción en adobe, la NEC recomienda el uso de la Norma Peruana de la Construcción E080.

2.2.1. Selección y obtención del material.

Históricamente, la tierra que se utiliza en la elaboración de adobes era obtenida del sitio donde se edificaba la vivienda, pero esto no significa que esta sea óptima para su uso, ya que no cualquier suelo nos da un material óptimo para la construcción. Es por eso que es necesario diferenciar que tipo de tierra es idónea para la elaboración de los elementos

constructivos. Por ejemplo, la tierra de la capa vegetal se conoce que no debe ser usada para la fabricación de ladrillos de adobe, debido a que puede presentar material orgánico que se pueden descomponer y generar vacíos internos, o incluso puede contener semillas que pueden germinar y ocasionar daños en el muro.

El INPC recomienda que "... la tierra más idónea para este uso es la que se encuentra a continuación de la capa vegetal, regularmente presenta gran cantidad de arena y grava, con el adecuado porcentaje de arcilla y limo; El porcentaje de arcilla presente en la tierra es uno de los factores más importantes a considerar para ese tipo de construcción, siendo el adecuado entre el 15 al 20%, sin embargo, este porcentaje no es fijo, ya que se han dado casos en donde suelos con menos de un 10% han resultado óptimos para la fabricación de adobes" (INPC, 2011).

Así mismo, se debe considerar que: "Existen suelos cuyos contenidos de arcilla son muy altos y deben ser rebajados con arena, para ello es necesario que esta mezcla se la

haga en seco y la arcilla debe ser previamente triturada. Se debe tener presente que un suelo arcilloso ante la presencia de agua produce hinchamientos, mismo que en su proceso de secado generan fuertes agrietamientos que afecta su resistencia y constitución. La arcilla tiene la propiedad de brindar cohesión, esto es indispensable para todo suelo que vaya a ser utilizado en la construcción. Un suelo arenoso, cuyo contenido de arcilla es bajo o inexistente, genera disgregación o falta de cohesión entre sus elementos, resultando en un suelo muy frágil y fácil de erosionar por falta del componente que los ligue (arcilla)" (INPC, 2011).

Además, es recomendable el uso de las pruebas empíricas o de laboratorio, para comprobar que la tierra es calificada para la construcción de los adobes y que nos garantice la calidad de esta. Si es que la tierra no es apta, es necesario estabilizarla agregando arena (para la tierra arcillosa) o arcilla (cuando es arenosa), según proceda. De igual manera, para restauraciones arquitectónicas es recomendable reutilizar la tierra de los muros o revoques.

Algunas de las pruebas más usadas para verificar que la tierra sea la óptima para la construcción son:

- "El ensayo de la caída de la bola (ver figura 11), esta prueba empírica nos sirve para verificar que la humedad sea la correcta, consiste en tomar un puñado de la mezcla y moldearlo hasta formar una bola, se la deja caer al piso desde la altura de un metro aproximadamente. Si esta se aplasta sin romperse, significa que contiene demasiada agua, si se rompe en pedazos pequeños, hace falta agua, y si se rompe en pocos pedazos grandes, hay suficiente agua. Así como está, existen varias pruebas empíricas para comprobar las características de la tierra" (Canavesi, 2017).
- "El ensayo granulométrico (ver figura 12), sirve para determinar la proporción de los componentes principales (arena, limo y arcilla) de la tierra. Se recomienda que la cantidad de arena fluctúe entre 1.5 y 3 veces la cantidad de limos y arcilla. Por

ejemplo, si tenemos una altura de 3 cm con limos y arcilla, la altura de la arena deberá estar comprendida entre 4.5 a 9 cm" (Morales, et al., s. f.)

- “El ensayo de la plasticidad (ver figura 13), sirve para determinar la calidad de la tierra y nos permite saber si esta es arcillosa, arenosa o arcillo arenosa. Se conforma con tierra humedecida, un rollo de 1.5 cm de diámetro aproximadamente, suspenderlo en el aire y medir la longitud del extremo que se rompe. Aquí se presentan 3 casos:
 - Si es de 5 a 15 cm es tierra arcillo arenosa que es la adecuada para usar.
 - Si se rompe antes de los 5 cm es una tierra arenosa y es inadecuada para su uso.
 - Si se pasa de los 15 cm es una tierra arcillosa igualmente inadecuada para su uso" (Morales, et al., s.f.).

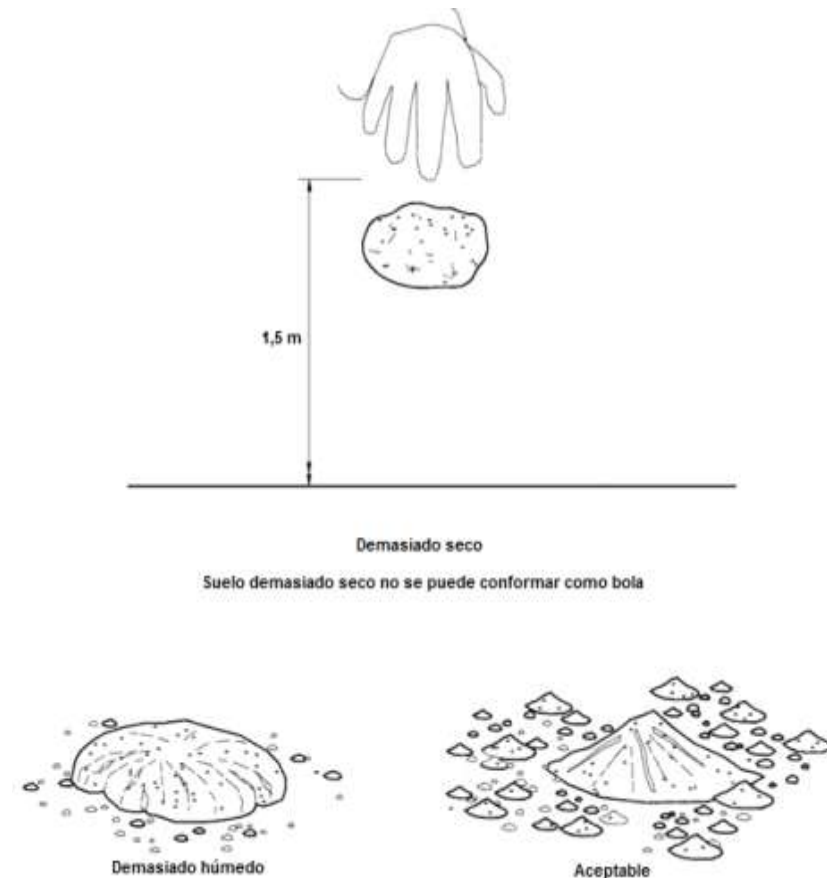


Figura 11: Ensayo caída de la bola.

Canavesi, P. (2017). Protocolo de ensayos de materiales para construcciones de tierra [Gráfico].

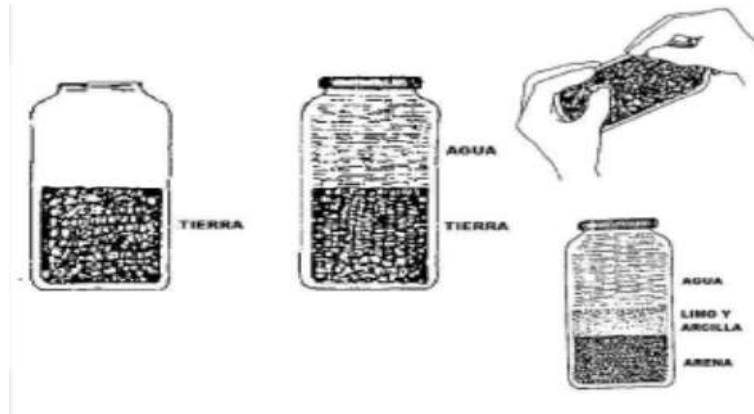


Figura 12: Ensayo Granulométrico.

Canavesi, P. (2017). Protocolo de ensayos de materiales para construcciones de tierra [Gráfico].

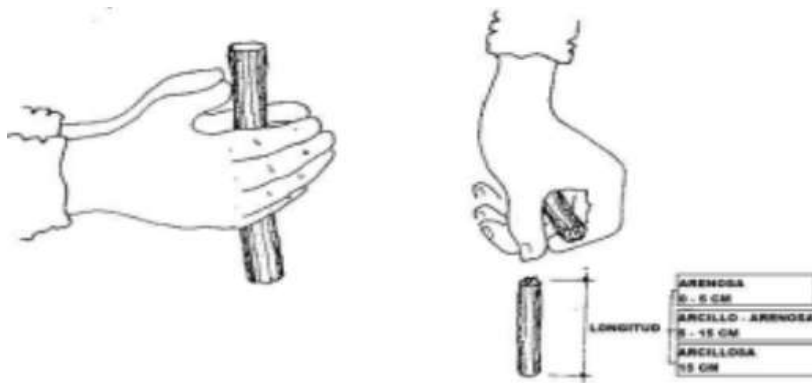


Figura 13: Ensayo de la plasticidad.

Canavesi, P. (2017). Protocolo de ensayos de materiales para construcciones de tierra [Gráfico].

2.2.2. Elaboración del adobe.

El proceso para la elaboración de los bloques de adobe inicia retirando la grava superior a los 2 cm, luego, se humedece el material con agua (esto sirve para la integración de las partículas de tierra, de este modo el material obtiene una mejor plasticidad) y se bate; para este proceso se puede utilizar una pala, caminar sobre el barro o utilizar maquinaria (ver figura 16). Una vez batida se cubre con paja y se deja reposar unos días.

Posterior a ello, se agrega paja picada y se bate nuevamente, para continuar con el proceso del moldeo (ver figura 17). "El tamaño más adecuado de la adobera es la que permite obtener adobes de 40x18x20cm. (largo, ancho y alto), esta medida permite trabajar el muro de manera que se genere traba, incluso haciendo de doble adobe. Como regla general, se sabe que el largo tienen que ser superior al doble del ancho, con unos 2 o 3 cm, esto con el objeto de dar cabida al barro para la unión de ellos" (INPC, 2011).

Una vez que los adobes son desmoldados, se empieza con el proceso de secado, se recomienda evitar un secado brusco del material para evitar fisuraciones y deformaciones; por ello es conveniente hacerlo bajo sombra o cubrir los adobes con paja, protegiéndolos de la lluvia y el sol. "Lo importante es garantizar un proceso de secado homogéneo y lento" (Ver figura 14) (Minke, 2001, p. 110).

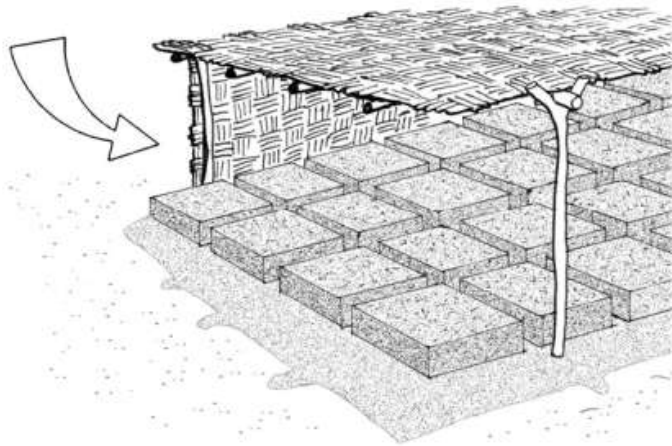


Figura 14: Proceso de secado de los bloques de adobe.

Canavesi, P. (2017). Protocolo de ensayos de materiales para construcciones de tierra [Gráfico].

El tiempo de secado de los adobes varía entre 20 y 40 días, y el apilado de los mismos no puede ser antes de los 7 días, comprobando la dureza de los mismos.

"Una manera fácil de conocer si un adobe se encuentra correctamente construido, tanto en proporciones de sus componentes como en su forma constructiva, es colocar, a la cuarta semana, a manera de puente (dos adobes de canto separados y uno encima) se para sobre ellos y si resiste este puente el peso de una persona, ese adobe guarda características necesarias para la construcción, caso contrario, si se ha roto, es necesario agregar arcilla al barro o paja en mayor cantidad" (Ver figura 15) (INPC, 2011).

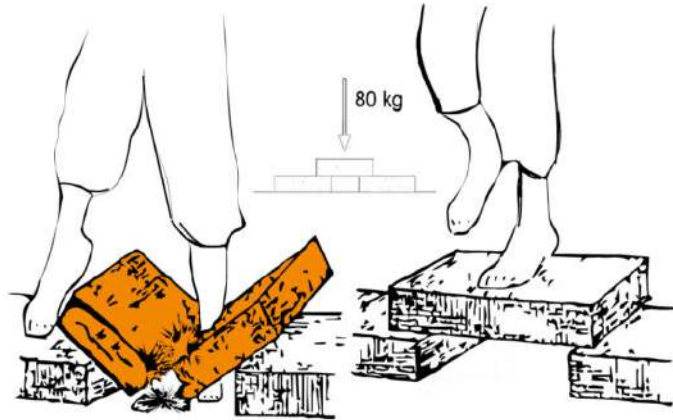


Figura 15: Prueba de resistencia para ladrillos de adobe

Ingeniería Real. (s.f.). Prueba de ruptura de ladrillos de adobe. [Imagen].
https://ingenieriareal.com/ladrillos-adobe/#google_vignette



Figura 16: Proceso de batido del barro.

Joe, I. (s.f.). Proceso de elaboración de bloques de adobe [Fotografía].
<https://www.faunanocurna.net/press/autoconstruccion-ecologica/>



Figura 17: Proceso de moldeo de los adobes.

Joe, I. (s.f.). *Proceso de elaboración de bloques de adobe* [Fotografía]. <https://www.faananocturna.net/press/autoconstruccion-ecologica/>

2.2.3. Proceso constructivo de los elementos estructurales.

Para el proceso constructivo se analizarán los diferentes elementos de las edificaciones de adobe. Este tema se basa en la norma peruana E080, pues como se había mencionado, en el Ecuador no existe una norma que explique el proceso constructivo.

2.2.3.1. Cimentación.

La cimentación en la construcción tiene como principal función la transmisión de las cargas totales de la edificación hacia el suelo, la cual deberá ser firme y resistente. Un suelo blando puede causar daños significativos al momento de producirse asentamientos o catástrofes naturales, como los sismos.

Según la Norma Peruana E.080: "la cimentación deberá tener una profundidad mínima de 0.60 m y un ancho mínimo de 0.60 m. Además, tendrá que construirse en concreto ciclópeo o mampostería de piedra para evitar que la humedad ascienda hacia los muros de tierra" (NORMA E.080, 2017).

2.2.3.2. Sobrecimientos.

Los sobrecimientos en las construcciones de tierra cumplen una función muy importante, la cual es la protección del muro a la humedad por capilaridad desde el suelo. Esta deberá ser de hormigón ciclópeo o piedra, evitando que la

parte superior sea lisa para mejorar la sujeción con el muro.
 “Todo sobrecimiento debe elevarse sobre el nivel del terreno por lo menos 0.30 m y tener un ancho mínimo de 0.40 m.”
 (NORMA E.080, 2017).

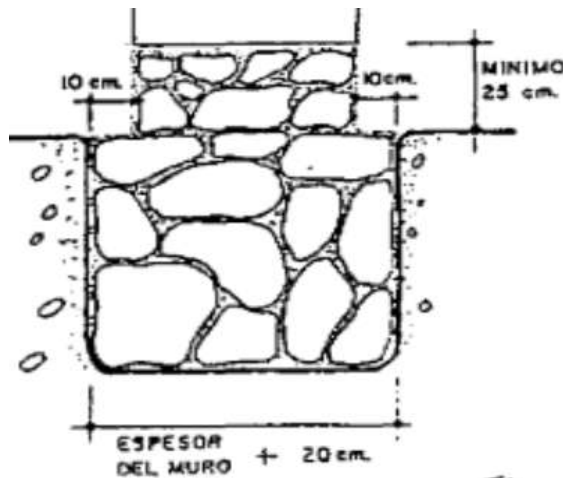


Figura 18: Cimentación y sobrecimiento.

Morales, R. (1993). Manual para la construcción de viviendas de adobe. [Imagen].

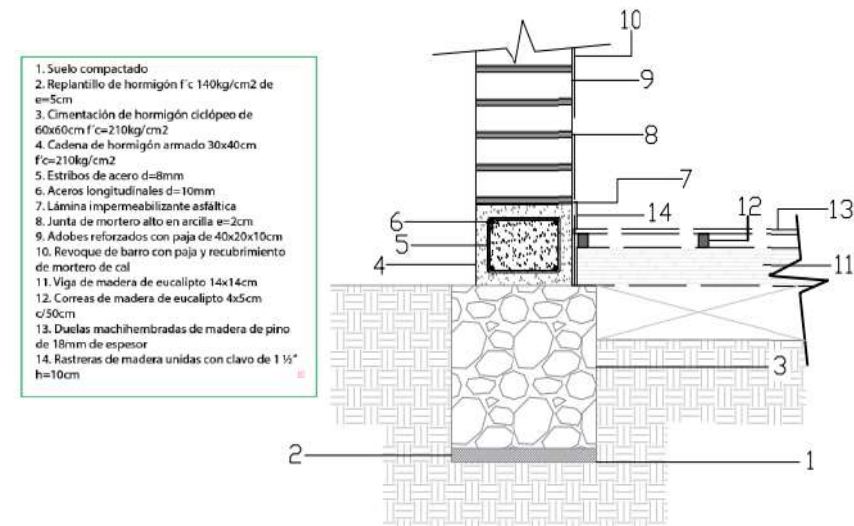


Figura 19: Detalle constructivo, proceso para la construcción de edificaciones de adobe

2.2.3.3. Muros.

Los muros son los elementos estructurales más importantes en la construcción de tierra. Por ello, estos deben ser rígidos, continuos, simétricos y correctamente arriostrados para asegurar un desempeño adecuado. Su principal función es la protección de las condiciones externas y la distribución del espacio edificado.

La albañilería de adobe, a diferencia de otros sistemas constructivos, no necesita columnas, debido a que los muros son la estructura propia del sistema (sistema portante) y esta se debe considerar como un sistema integral al momento del diseño. Debido a esto, se debe tener en cuenta ciertos criterios y normas al momento de la ejecución de una obra de adobe:

- **Esbeltez.**

La esbeltez vertical es la relación entre el ancho y el alto del muro. “La altura máxima de los muros no debe ser mayor que seis veces su espesor, este debe tener un mínimo de 40 cm de ancho” (NORMA E.080, 2017). Por ello, en construcciones de mayor altura, como iglesias o templos, es necesario utilizar muros más anchos, respetando la proporción de 1:6. Esta relación puede ser menor o mayor, dependiendo de en que región del mundo se construye la edificación, debido a la variación de actividad sísmica, condiciones físicas y mecánicas del suelo.

En cambio, la esbeltez horizontal es la relación entre la longitud horizontal del muro y el espesor, esta relación debe ser igual a menor o igual a 10 veces el espesor del muro. Eventualmente, entre la esbeltez horizontal y vertical se debe cumplir con la siguiente expresión: $\lambda h + 1.25 \lambda v \leq 17.5$. (Ver figura 21)

- **Geometría en planta.**

Se refiere a la distribución espacial y a la forma de la edificación en planta, es fundamental para conseguir estabilidad. Debe haber un equilibrio entre los muros transversales y longitudinales para que, al momento de un sismo, pueda comportarse correctamente, sin cargar un lado más que del otro. Los muros longitudinales deben estar amarrados por los transversales, si no se presenta uno de estos muros, se deben considerar estrategias auxiliares para soportarlos como los contrafuertes. “El contrafuerte puede ser recto o trapezoidal. En caso tenga forma trapezoidal, su base o parte inferior debe medir 5 veces el ancho del muro (b) y la parte superior (que sobresale del muro) debe medir como

mínimo ' $b/3$ '. Además, el ancho del muro (e_0) debe ser mayor o igual al espesor del muro" (Ver figura 21) (NORMA E080, 2017).

Según Minke: "Para obtener estabilidad en la vivienda, la forma de la planta es muy importante:

- Mientras más compacta sea la planta, la edificación será más estable. Son preferibles las formas cuadrangulares o rectangulares, siempre que la relación largo/ancho no supere el valor de 4 y que ninguna dimensión supere los 30 m.

Una planta en forma circular es la óptima.

- Las plantas en forma de L o en U, no son recomendables, pero de ser necesarias, se recomienda separar estos espacios en planta, esta unión entre los mismos debe ser flexible y liviana" (Ver figura 20) (Minke, 2001).

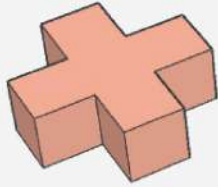
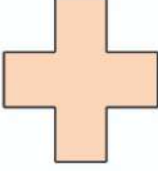
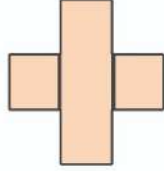
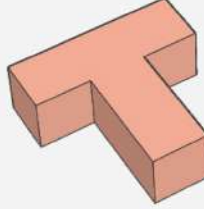
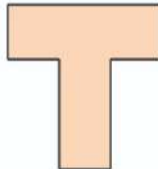
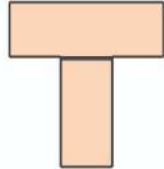
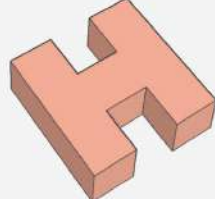
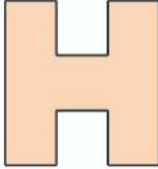
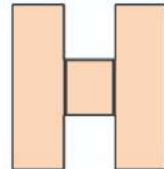
EDIFICACIÓN	PLANTA	POSIBLE SOLUCIÓN
		
		
		

Figura 20: Posibles soluciones plantas irregulares

- **Limitación de vanos.**

Los vanos en los muros de adobe debilitan la estructura, pues generan la disminución de la masa del muro, es por ello que deben limitarse y se debe considerar dos aspectos:

- “Los vanos deberán estar centrados y su ancho no debe ser mayor a 1.20 m. La suma de los anchos de vanos en una pared, en ningún caso, deberá ser mayor a la tercera parte de la longitud total de dicha pared. (Ver figura 21)
- Los vanos no deben ubicarse en las zonas críticas de los muros, principalmente en esquinas o encuentros, estos deben estar ubicados a una distancia mínima de 0.90 m. y se debe seguir la siguiente expresión: La longitud del muro antes y después de un vano deberá ser entre 3 veces el espesor del muro y 5 veces el espesor del muro. (Ver figura 21) Además, es fundamental la construcción de dinteles, estos deberán empotrarse mínimo 0.40 m a cada lado del muro” (NORMA E080.).

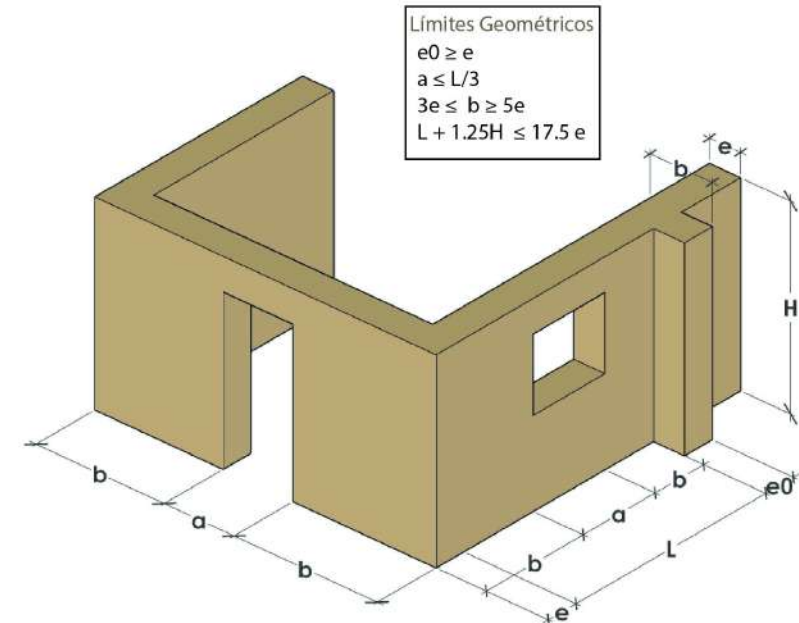


Figura 21: Criterios de la configuración de construcciones de adobe

- **Encuentro entre muros.**

El encuentro entre muros se puede dar de 3 formas diferentes:

- **Encuentro en esquinas.**

En este encuentro, los muros deben estar entrelazados y la disposición de los bloques debe variar de hilada en hilada,

generando trabas (ver figura 22), que ayudan a la estabilización del sistema, estos pueden ser colocados en sogá o tizón, y puede implementarse un solo adobe o doble adobe. Esto se realiza debido a que las esquinas son el punto más frágil de la construcción frente a un sismo. “Es necesario tener presente que las esquinas deben poseer una correcta traba en el cruce de los adobes. No se debe dar continuidad vertical en las juntas entre una y otra fila. Las juntas no pueden ser mayores a 2 cm, se recomienda humedecer moderadamente los adobes para que se genere una buena adherencia con el mortero” (INPC, 2011).

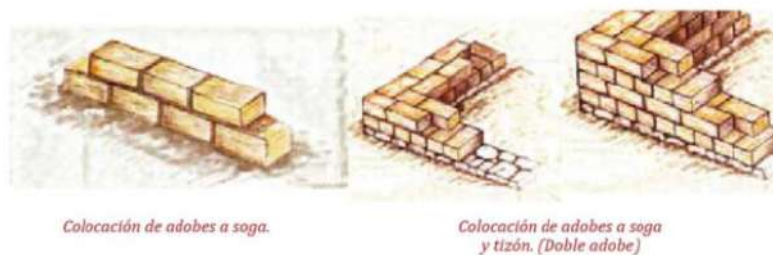


Figura 22: Hiladas y trabas en la construcción del muro.

INPC. (2011). *Arquitectura tradicional de Azuay y Cañar* [Fotografía].

- Encuentro en T.

De igual manera, en esta unión de muros deben estar entrelazados formando una traba, caso contrario al momento del sismo, estos se golpearían, generando daños en la unión.

- Encuentro entre un muro de adobe y uno de tabiquería.

En este caso, los muros no se pueden entrelazar. Se debe evitar la construcción de este tipo de sistemas, debido a que al ser de diferentes materiales, su comportamiento sísmico difiere, ocasionando daños en la estructura.

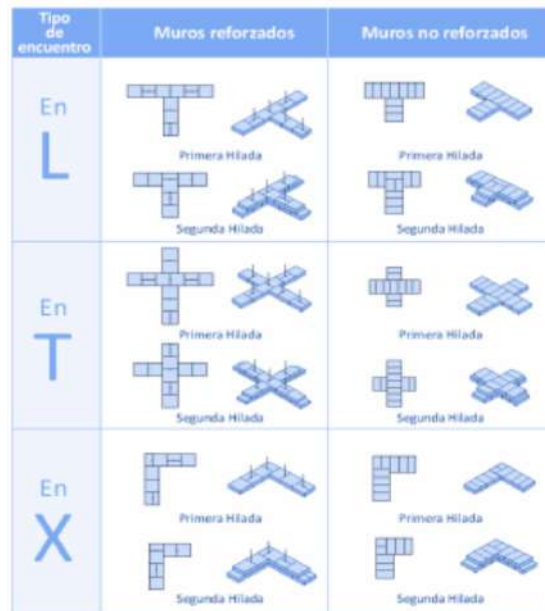


Figura 23: Tipos de amarres de encuentro entre muros de adobe.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Manual de Construcción Edificaciones Antisísmicas de Adobe. [Gráfico], p. 22.

• Refuerzos Horizontales

Los elementos comunes de refuerzo horizontal o arriostre son: viga, collar o solera. Estas comúnmente son de madera.

“Tener como mínimo una viga collar en la parte superior de cada muro, fijada entre sí, así como a los refuerzos, y contruidos con un material compatible con la tierra

reforzada (madera, caña u otros)” (Ver figura 24) (NORMA E080).

De igual manera se pueden usar cañas de reforzamiento cada 3 hiladas que se amarran entre sí para obtener una mayor rigidez en el muro.

• Refuerzos Verticales

Los esfuerzos verticales más utilizados son los contrafuertes, los cuales ayudan en la estabilidad de la estructura. Estos deben ser ubicados en las esquinas y en puntos críticos de la estructura. Pueden ser rectos o trapezoidales.

Además, se pueden encontrar varios sistemas de refuerzo como las cañas o mallas que se detallaran en el capítulo de sistemas de reforzamiento para los muros de adobe.

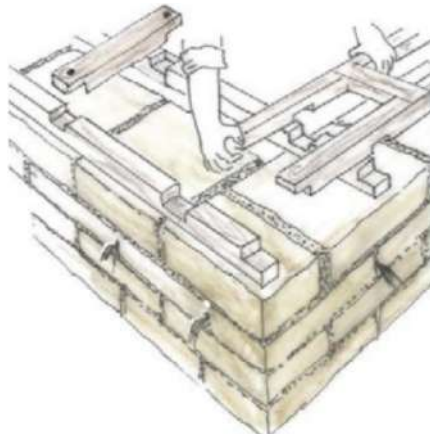


Figura 24: Viga Collar.

INPC. (2011). *Arquitectura tradicional de Azuay y Cañar* [Fotografía].

2.2.3.4. Cubierta.

Una vez que los muros han alcanzado la altura requerida, se puede empezar la construcción de la cubierta. En las construcciones vernáculas de adobe la cubierta se la realiza con madera, paja, carrizo, barro y teja. “La cubierta distribuye de manera homogénea las cargas puntuales e impide el desplazamiento libre de los muros, es necesario emplear soleras de madera ubicadas en las cabezas de los muros, dependiendo del grosor de la pared existen cabezas de muros en donde se utilizan una o dos soleras en todo su

perímetro. Sobre las soleras se asientan las vigas de arriostramiento de la cubierta” (INPC, 2011).



Figura 25: Enchanclado o cama de carrizo.

INPC. (2011). *Arquitectura tradicional de Azuay y Cañar* [Fotografía].

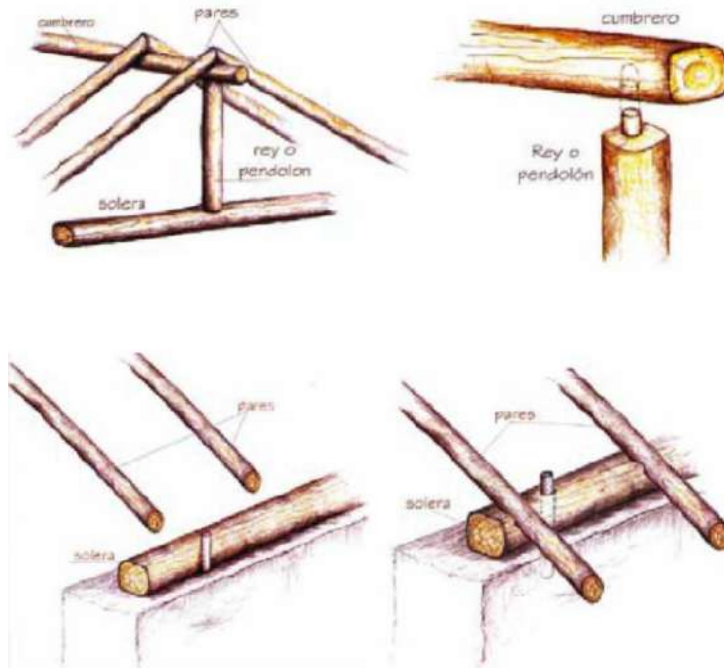


Figura 26: Proceso constructivo de cubierta de madera.

INPC. (2011). *Arquitectura tradicional de Azuay y Cañar* [Fotografía].

2.2.3.5. Revoque y empañetado.

Estos constituyen el revestimiento en las construcciones de adobe, este es importante para proteger los muros de la humedad. El revoque se ejecuta con tierra cernida (la misma que es usada para la elaboración de los adobes) y agua, este barro debe reposar al menos unas 48 horas antes de su uso. “La colocación del revoque se lo realiza en dos capas, la primera es de aproximadamente 0.5 cm, se deja que se seque durante un día y se coloca la segunda capa, que es más fina” (INPC, 2011).

El empañete se realiza con una mezcla de tierra o caolín y estiércol en iguales proporciones, este se deja reposar para conseguir una buena consistencia. Se lo coloca en capas muy finas con un grosor de hasta 3 mm.

2.3. El comportamiento sísmico en las edificaciones en tierra cruda - adobe.

Un sismo es un fenómeno natural que ocurre por el movimiento de las placas tectónicas de la tierra o por actividades volcánicas. Cada año miles de personas en el

mundo son afectadas, en su mayoría por la destrucción de viviendas u otro tipo de construcciones. La magnitud de un sismo se mide en la escala de Richter, que es una medida de la energía que se libera en el lugar del sismo o también conocido como epicentro.

Aunque no solo depende de esta magnitud la fuerza de destrucción y los efectos del sismo; también influyen otros factores como: la profundidad y distancia del lugar, la topografía, el tipo de suelo, la duración y frecuencia. “La aceleración del suelo y la frecuencia respectiva de las aceleraciones determinan los daños en las construcciones” (Minke, 2001).

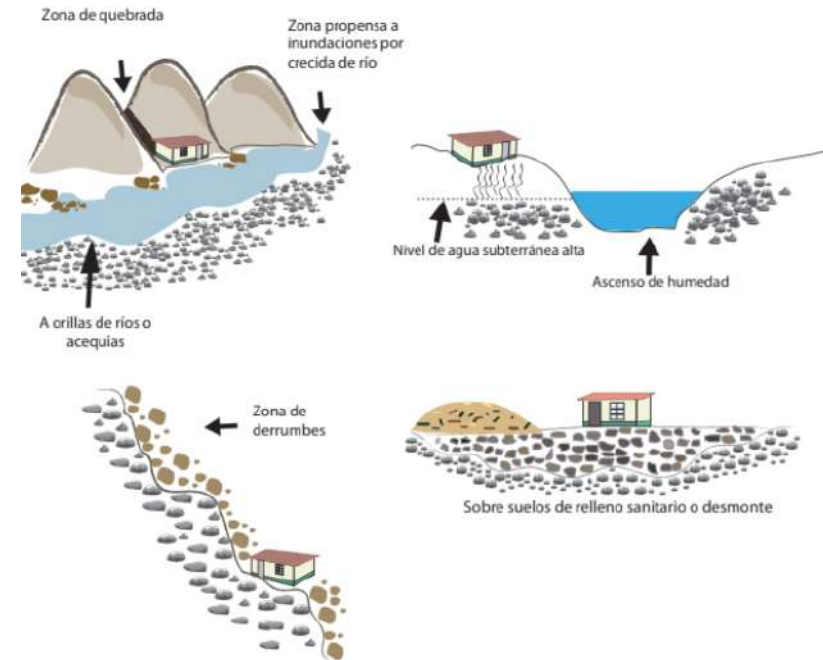


Figura 27: Ubicación inadecuada para una edificación.

INPC. (2011). *Arquitectura tradicional de Azuay y Cañar* [Fotografía].

Dos de las principales características que debe tener una construcción para resistir el impacto de un sismo son: la ductibilidad, que es la capacidad de una estructura de sufrir deformaciones sin romperse, y la resistencia contra las fuerzas horizontales, debido a que estas son las más destructivas. “Las edificaciones son afectadas mayormente por los

impactos horizontales creados por el movimiento de la tierra en el plano horizontal, los impactos verticales creados por la actividad sísmica son menores al 50%" (Minke, 2001).

La acción sísmica es de las que mayor riesgo representan a las edificaciones de tierra, puesto a que no se puede predecir cuando sucederá, así tampoco su magnitud y su duración. Es por ello, que existen normas de diseño sismorresistente con el fin de evitar colapsos totales o parciales, o aumentar el tiempo de colapso en una edificación, para de este modo salvaguardar la vida de los habitantes.

Las edificaciones de adobe presentan características constructivas que contribuyen a aumentar su vulnerabilidad sísmica, que es el grado de daño que presenta una estructura ocasionada por un sismo. Algunas de estas características son: la baja capacidad del adobe ante fuerzas de tensión, que inciden a que los muros no puedan resistir grandes cargas laterales; así como el elevado peso de la estructura; la edad de las edificaciones, haciendo que se

disminuya o pierda propiedades mecánicas en sus materiales; así como también el lugar de emplazamiento de la estructura o incluso el diseño propio de la forma de la edificación (Serrano, 2020). Así mismo, otros factores constructivos que inciden son: "... irregularidades en planta y en altura, distribución inadecuada de los muros en planta, pérdida de la verticalidad o plomo de los muros, problemas de humedad, filtraciones, conexión inadecuada entre muros, pérdida de recubrimiento entre muros, uso de materiales no compatibles, entrepisos pesados y ausencia de diafragmas, apoyo y anclaje inadecuado de elementos de entepiso y cubiertas, entrepisos muy flexibles, luces muy largas y estructuración de cubierta deficiente" (Yamín, et al., 2007). Todos estos factores aumentan la vulnerabilidad de los muros de adobe frente a movimientos telúricos y con ello el riesgo que esto conlleva para sus usuarios.



Figura 28: Vivienda de adobe afectada por un terremoto.

Ecuador

IGEPN. (2022). *Destrucción vivienda de adobe terremoto de Ecuador* [Fotografía]. <https://www.igepn.edu.ec/interactuamos-con-usted/1948-evaluacion-de-intensidad-es-sismicas-en-la-prov-del-carchi-tras-el-sismo-del-25-de-julio-de-2022>.

Tal como indica Contreras. “Existen dos tipos de vulnerabilidad sísmica: vulnerabilidad por origen o vulnerabilidad sísmica progresiva. La primera se da cuando una edificación no ha sido proyectada con criterios sismorresistentes, algo que puede solucionarse mediante la rehabilitación estructural y reforzamiento sismorresistente. La vulnerabilidad sísmica progresiva es la que se va incrementando con el tiempo y está asociada a la pérdida de las propiedades mecánicas que pueden perderse por cambios climatológicos o naturales. El efecto que sismos anteriores hayan tenido en una estructura es acumulable y debilita el sistema progresivamente. Para evitarlo es indispensable darle el mantenimiento correcto a cada tipo de estructura” (Arteaga, 2016, et al., 2011, como se citó en Serrano, 2020).

Los efectos de los movimientos sísmicos provocan patrones de fallas comunes en las construcciones de adobe, las más comunes son: grietas de corte alrededor de vanos, separación de muros en esquinas, desplomes, o colapsos

totales o parciales. “La fisuración empieza siempre, en las esquinas laterales, donde se concentran las mayores tensiones de tracción, produciendo grandes grietas que terminan por separar a los muros entre sí; también, existen fuerzas sísmicas verticales que suelen separar a los muros de la estructura de la cubierta, provocando el colapso estructural (Blondet, et al., 2005). Además, las cargas dinámicas ocurridas en un sismo hacen que la unión de las partículas de tierra en un muro se degrade, lo que provoca grietas. Si estas llegan a afectar a las esquinas, la construcción deja de funcionar como una unidad, haciendo que cada elemento absorba el impacto sísmico de manera aislada, así la estructura quedará propensa a fracasar frente a otro impacto natural o a la carga propia de la edificación. Es por eso, que la sismorresistencia en las edificaciones de adobe debe ser clave al momento de construirlas o restaurarlas, principalmente en zonas de alto riesgo sísmico. Además, es necesario tener conocimiento del comportamiento de los materiales y las técnicas

constructivas, para de esta forma tomar medidas preventivas que ayuden a minimizar los daños y el riesgo de colapso ante este tipo de desastres naturales. “Una edificación sismorresistente se identifica por, una configuración estructural coherente, dimensiones apropiadas y materiales con una proporción y resistencia suficientes para soportar la acción de fuerzas causadas por los sismos” (AIS, s.f, como se citó en Jurado, 2019), así también es necesaria la implementación de sistemas de refuerzo en las edificaciones de tierra.

Modos de falla en muros de adobe

Las fallas constructivas, deficiente mantenimiento y malas intervenciones, afectan a la estabilidad y aceleran la evolución de las fallas: grieta de flexión, grieta y falla de tímpano, grietas horizontales a mediana altura, grietas de corte en forma de X, grietas verticales en las esquinas, grietas diagonales en las esquinas, grietas en forma de aspas en las esquinas, grietas en aberturas, grietas entre muros perpendiculares (Tolles, 2002), grietas en forma de curva parabólica, desplome de

muros, erosión basal y erosión del cabezal del muro (Piedra, 2008). Además de malas prácticas constructivas que se abordará con mayor detalle en el siguiente tema.

Algunos de los tipos de grietas y fisuras que se generan son:

- Fisuración vertical. Las trazas verticales se localizan en sitios de discontinuidad coincidentes con las aberturas de puertas y ventanas y/o con los sitios aledaños a los cruces entre muros normales. Un caso especial son los segmentos de muros continuos de gran longitud sin aberturas; estos segmentos son delimitados por fisuraciones verticales localizadas en las inmediaciones del centro del vano y/o en las proximidades de los muros normales, son los de mayor significación para la respuesta sísmica muraria debido a que la inercia de su masa ocasiona corrimientos importantes fuera del plano cuando los apoyos laterales no controlan adecuadamente los desplazamientos por falta de rigidez y/o resistencia (Morán, 2017). Además, estas fisuras se pueden formar por desgarramiento vertical entre las paredes perpendiculares, y se debe a la mala transferencia de las

fuerzas sísmicas entre esos muros, por la ausencia de vigas soleras (controlan los grandes desplazamientos laterales en la zona central superior del muro) y columnas de confinamiento, capaces de absorber las tracciones que se desarrollan en el encuentro entre los muros, o porque generalmente los muros de arriostre se encuentran muy distanciados (CERESIS, 2015).

- Fisuración horizontal. Aparecen en las secciones inferiores de los segmentos como una consecuencia de los corrimientos fuera del plano y la fragilidad del material. Estas fisuraciones ocasionadas por la restricción a los desplazamientos de la estructura de entrepiso en las edificaciones de dos niveles, independizan los muros de planta baja con los de planta alta (Morán, 2017). Además, pueden producirse grietas en la base del triángulo superior del tímpano por los empujes que genera la viga cumbrera y en la interface entre el sobrecimiento y el muro de adobe, estas se generan por acciones sísmicas perpendiculares al plano del muro (CERESIS, 2015).

- Fisuración inclinada. Las trazas de estas fisuras son causadas por: a) Esfuerzos cortantes ocasionados por asentamientos diferenciales del suelo; b) Por concentración de esfuerzos cortantes en las esquinas superiores de las aberturas por solicitaciones sísmicas en el plano del muro; c) Golpeteo entre muros normales por diferencia de frecuencias y desplazamientos (Morán, 2017).

2.3.1. Sismicidad en el Ecuador.

En Ecuador existe un alto riesgo sísmico debido a que se encuentra ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, el cuál "se caracteriza por concentrar algunas de las zonas de subducción más importantes del mundo, ocasionando gran actividad sísmica y volcánica en los territorios que lo conforman" (Pin, 2018). Como se menciona en el libro: Breves Fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador, "el número de sismos que se registran en nuestro territorio puede sumar varios miles por año" (Rivadeneira, et al., 2007).

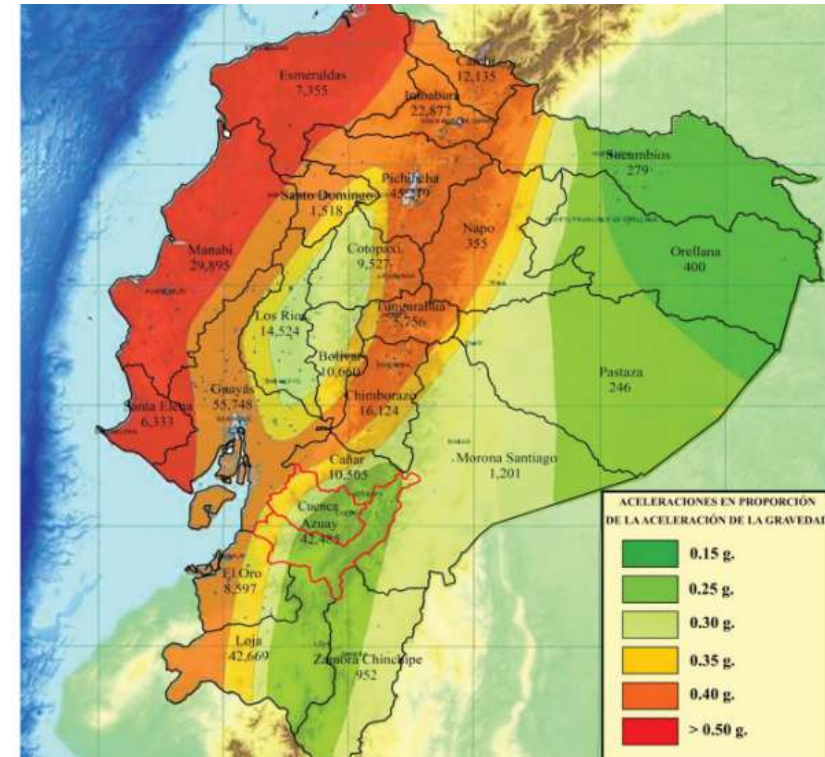


Figura 29: Identificación zonas sísmicas en Ecuador, número de viviendas construidas en tierra.

NEC. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción* [Imagen].

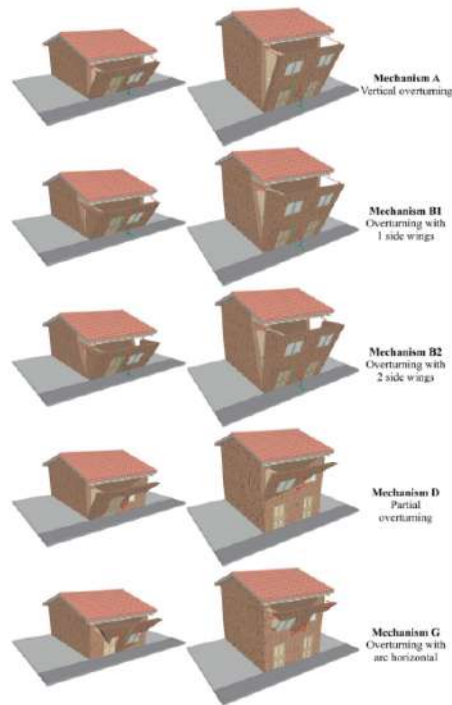


Figura 30: Descripción de los 5 mecanismos de fallo en edificaciones de uno y dos pisos

Cárdenas, X., & Tarque, N. (2021). *Loss Estimation for Typical Adobe Façades of Cuenca (Ecuador) Due to Earthquake Scenarios* [Imagen]. <https://www.tandfonline.com/loi/uarc20>

1. Desplome vertical del muro
2. Desplome vertical con parte de 1 muro lateral
3. Desplome vertical con parte de los 2 muros laterales
4. Desplome parcial del muro
5. Desplome parcial del muro con la parte superior horizontal

Además, “en la ciudad de Cuenca no se han dado sismos destructores durante el último siglo, sin embargo, se han experimentado sismos importantes en 1758, en febrero de 1856 y 1913” (Jiménez, et al., 2002). Un estudio realizado por Cárdenas-Haro en 45 casas patrimoniales del centro histórico de la ciudad de Cuenca, nos indica que existen varios tipos de fallos recurrentes en los muros, estos pueden producir el colapso de la edificación en caso de sismos. (Ver figura 30) (Cárdenas-Haro, et al., 2023).

En este estudio se profundiza el análisis de la vulnerabilidad sísmica y el comportamiento en las fachadas de las 45 viviendas del centro histórico, aplicando diferentes escenarios sísmicos, tomando en cuenta también: la configuración de las plantas, la altura, el número de pisos, la

configuración de los materiales y se basa en 5 tipos de mecanismos de fallo, considerando diferentes variables de aceleración sísmica. Los resultados de esta investigación, indican que:

“Cuando la intensidad del sismo incrementa, se producen mayores daños en la estructura, la mayoría llegando al colapso al ser un sismo de gran intensidad” (Ver figura 31) (Cárdenas-Haro, et al., 2023).

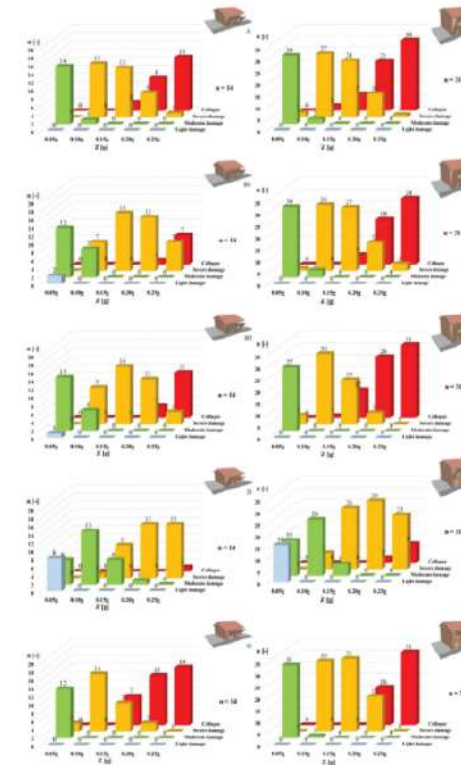


Figura 31: Matriz de daño en edificaciones de una y dos plantas, considerando los 5 tipos de fallos y las diferentes variables de aceleración.

Cárdenas, X., & Tarque, N. (2021). *Loss Estimation for Typical Adobe Façades of Cuenca (Ecuador) Due to Earthquake Scenarios* [Imagen]. <https://www.tandfonline.com/loi/uarc20>

Esta investigación permite observar una aproximación del comportamiento de las edificaciones con similares características ante sismos de diferente intensidad, para así poder aplicar un plan de prevención con los diferentes sistemas de reforzamiento en las edificaciones ante posibles daños y colapsos.

2.4. Principales patologías y daños en las construcciones de tierra cruda - adobe.

Las causas del deterioro de la edificación de adobe, principalmente se dan por factores climáticos y del medio ambiente, tales como: la humedad, los vientos, la presencia de vegetales, ataque animal, además de las malas prácticas constructivas, como: mala construcción de la cimentación, inadecuada distribución de muros y tabiques, o aplicación de materiales inadecuados.

“La tierra de las construcciones sufre mayor deterioro que otros materiales, porque en el endurecimiento del barro no se

produce una nueva cristalización de componentes, como en la cal o el cemento, convirtiéndose el agua en su agente principal de deterioro porque puede reblandecerlo” (Monjo, 1998).

Las construcciones en tierra sufren deterioro por diversas causas, que pueden estar vinculadas con diversos agentes, estos pueden ser internos, como por ejemplo la selección de una tierra inadecuada, mala distribución de muros, etc. Así como externos como la temperatura, humedad, entre otros. La diferencia entre patologías y daños radica en que: las patologías son los causantes del problema, mientras que los daños son los efectos de dichas patologías sobre las construcciones.

2.4.1. Principales patologías en las construcciones en adobe.

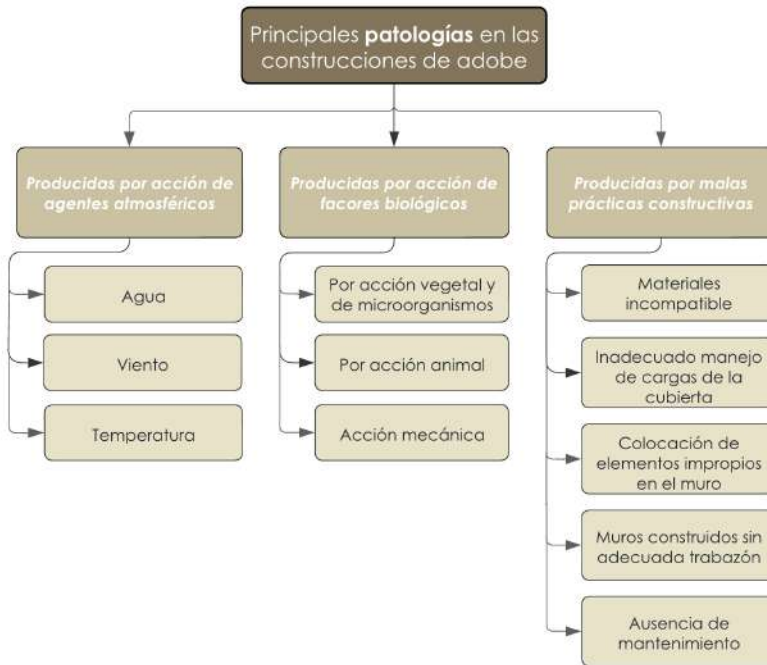


Figura 32: Mapa conceptual: Principales patologías en las construcciones de adobe.

Las principales patologías en las construcciones en tierra vienen dadas por agentes naturales que incrementan la vulnerabilidad de la edificación, comúnmente estos agentes se suman a la falta de mantenimiento de las construcciones

o errores en el proceso de construcción. Los sub clasificamos en:

2.4.1.1. Patologías producidas por acción de agentes atmosféricos.

Las patologías relacionadas con agentes atmosféricos son la principal causa de deterioro en las construcciones en tierra, entre estos están: el agua, el viento y la temperatura.

Sobre todo, generan daños en las edificaciones cuando afectan a las bases y la coronación del muro de la edificación y estas vienen producidas por: la humedad por capilaridad, por ausencia de sobrecimiento o mala construcción de la misma; por salpicaduras, por contar con un alero inadecuado o la ausencia de revestimiento; o por filtración de agua desde la cubierta hacia el interior de los muros.

Tal como nos indica Tolles "el adobe sufre una dramática reducción de resistencia cuando se moja. Las fuerzas de compresión y tracción pueden reducirse entre un 50% y un 90%" Esta presencia de humedad favorece a la proliferación

de hongos, mohos y líquenes, que debilitan la estructura (Tolles, et al., 2002, citado en Achig et al., 2013).

De la misma forma, el viento influye en la degradación de las construcciones en tierra, por lo que produce erosión en los muros. Asimismo, cuando se junta con la acción del agua, forma lo que se conoce como escorrentía, que va lavando las caras de los muros, en primera instancia su revestimiento, hasta llegar a la estructura de los adobes.

“Si bien el agua es el principal causante de lesiones en la arquitectura de tierra, también resulta fundamental destacar la acción del viento como agente erosivo. Al desplazarse, el aire arrastra partículas en suspensión que impactan contra los muros de adobe, desgastando la superficie de las zonas más expuestas, como las esquinas. La acción del viento es un factor especialmente relevante en el caso de edificios carentes de revestimiento y dispuestos de forma aislada en zonas con poco arbolado” (Gómez-Patrocinio, et al., 2016)

Así mismo, los cambios de temperatura afectan a las construcciones en tierra, sobre todo cuando las grietas o

daños son reparadas con materiales inadecuados, al tener cambios de volumen distintos a los de la tierra.



Figura 33: Problemas de erosión.

Gómez, J. (s.f.). *Procesos patológicos en muros de adobe* [Fotografía]. <https://resarquitectura.blogs.upv.es/files/2018/07/76-ACint-low.pdf>

2.4.1.2. Patologías producidas por acción de factores biológicos.

A más de los agentes atmosféricos, existen otros elementos de origen biológico con capacidad de producir lesiones a

las construcciones de tierra. En este grupo de patologías están las provenientes de la presencia de seres vivos en el entorno de la edificación, como vegetación o animales que inciden sobre los elementos de la edificación.

- **Patologías producidas por acción vegetal y de microorganismos.**

Las construcciones en tierra suelen ser entornos idóneos para el que vegetación se desarrolle (ver figura 34), unas condiciones higrotérmicas adecuadas pueden permitir que semillas germinen, estas pueden introducirse al adobe por el viento o de manera involuntaria en su elaboración.

Así mismo, los muros que acarrean problemas de humedad son los más susceptibles al desarrollo de plantas, musgos, líquenes y hongos, que deterioran a los muros por la introducción de raíces a los ladrillos de adobe, generando un debilitamiento, reblandecimiento y disgregación del material. También, esta alteración en los muros intensifica la proliferación de microorganismos que generan ácidos

orgánicos que cambian la estructura química de la arcilla, produciendo debilitamiento de la cohesión y pulverización de la estructura. Así mismo, se debe tener en cuenta que un constante golpeteo de vegetación a la estructura, con la ayuda del viento, debilitará la misma.

La eliminación de estos organismos biológicos debe ser estudiada, ya que una mala intervención podría generar daños mayores (Chiappero, et al., 2003).



Figura 34: Daños provocados por acción vegetal.

- **Patologías producidas por acción animal.**

Normalmente, las construcciones en adobe y su entorno son sitios de vida de múltiples especies animales, cuya actividad tiene incidencia en las edificaciones, estas actividades generalmente son lesivas y debilitan las estructuras.

La acción animal abarca desde pequeños insectos o arácnidos, hasta la acción de animales de mayor magnitud, como animales domésticos o el ganado.

“Sin embargo, resulta habitual encontrar sistemas de pequeñas perforaciones en la fábrica de adobe debidas al asentamiento de colonias de invertebrados, como hormigas o termitas. Del mismo modo, diversas especies de roedores y pequeños mamíferos horadan este tipo de muros con el fin de conformar sus madrigueras” (Keefe, 2005).

A más de las acciones de insectos o arácnidos, se debe sumar la acción de aves que anidan en las construcciones. Esta presencia continuada favorece la acumulación de material orgánico de sus desechos, que puede incrementar

la humedad en ciertas zonas de la edificación y producir alteración en el adobe por la acidez de sus excrementos.

Las lesiones que generan los animales de mayor magnitud puede ser: la erosión por impactos o roces sobre la estructura; problemas de alteración del material debido a la concentración de purines e incluso la disgregación del material por la acción del ganado sobre los muros, cuando estos la lamen en busca de sales.

2.4.1.5. Patologías producidas por malas prácticas constructivas.

Este tipo de patologías también se las conoce como causas antrópicas al ser producidas por la acción u omisión del ser humano (causas directas o indirectas), son afectaciones que sufren las viviendas en adobe ocasionadas por el desconocimiento y que, por consiguiente, se traducen en malas prácticas constructivas.

Estas prácticas no son identificadas en el momento de la ejecución, pero acarrear graves problemas para los propietarios de los inmuebles, esto es debido sobre todo a la

ausencia de asesoramiento técnico en la construcción de la edificación. Las malas prácticas constructivas más comunes son:

- **Materiales incompatibles.**

El uso de materiales incompatibles con el adobe suele ser común para reparar muros o rellenar fisuras, este material suele ser cemento u otros distintos a la tierra cruda, por lo que sus propiedades físicas y mecánicas son diferentes, al igual que su dilatación y compresión, por ello suelen generar más problemas que soluciones en las edificaciones.

“El desconocimiento del comportamiento de las construcciones de tierra cruda hace que tanto los profesionales de la construcción como las reparticiones oficiales que tienen a su cargo la restauración de estos edificios, opten por el uso del hormigón, hierro, cal y cemento a los fines de proporcionarles solidez. Con esta acción se perturban los principios básicos de continuidad, homogeneidad, adherencia, unidad, textura y color de la

obra en cuestión, derivando esta acción en más problemas que soluciones” (Chiappero, et al., 2003).

Así mismo, si se incluye tabiques de otro material junto al adobe, sus comportamientos diferirán y esto ocasionará daños en la estructura. Un caso adicional que produce problemas en las construcciones puede ser producido por el empleo de enlucidos con materiales impermeables como el cemento o pinturas plásticas que aumentan el contenido de humedad en los muros y aumentan el riesgo de desarrollar lesiones. “Debido a su propia naturaleza, los muros de tierra necesitan intercambiar humedad con el medio que los rodea para mantener unas condiciones higrométricas óptimas. Al recubrirlos con un revestimiento intranspirable, se impide que este intercambio se produzca” (Gómez-Patrocinio, et al., 2006).

- **Inadecuado manejo de las cargas de la cubierta de la edificación.**

Sucede, por ejemplo, cuando se aligera la carga de la cubierta original, conformada por cañas aplastadas y barro.

Usualmente, se retira para implementar cubiertas más ligeras con materiales como el zinc, pero esto produce que la cubierta se aligere y los muros de adobe sean susceptibles a volcamiento. Asimismo, se puede llegar a una sobrecarga de la techumbre, cuando se reemplaza el material por uno más pesado. “Estas sobrecargas puntuales se manifiestan por la aparición de una fisura sensiblemente vertical que nace en el apoyo de la viga y que desciende en la dirección de transmisión de las cargas, desviándose muchas veces hacia puntos débiles de la estructura como las equinas superiores de los huecos de fachada” (Gómez-Patrocinio, et al., 2006).



Figura 35: Vivienda de adobe con cubierta de eternit e incorporación de cemento

- **Colocación de elementos impropios en el muro de adobe.**

La colocación de elementos como ductería eléctrica o sanitaria en la edificación mediante perforación a la fábrica de adobe ocasiona grandes problemas en la estructura, pues la debilita. Además, normalmente este acto está acompañado de sellado con materiales incompatibles. “Más

allá de la propia alteración de la imagen de la construcción, la introducción de estos elementos puede resultar problemática si su instalación se hace de forma poco cuidadosa, rompiendo la fábrica e introduciendo materiales cementosos para su sujeción. Este tipo de intervenciones pueden desembocar en la aparición de eflorescencias o incluso en la fisuración de zonas de la fábrica al alterar el recorrido de transmisión de las cargas" (Gómez-Patrocinio, et al., 2006). De igual manera, retirar estos elementos puede llegar a ser muy problemático, pues suele realizarse con materiales de gran adherencia, ocasionando que se afecte la estructura de la edificación.



Figura 36: Vivienda de adobe con vigas de hormigón.

Turismo Alternativo. (2012). *Construcción de casa con Adobe* [Fotografía]. <http://miturismoalternativo.blogspot.com/2012/05/construcciones-con-adobe.html>

- **Muros contruidos sin adecuada trabazón.**

Generalmente, cuando las personas de las familias que habitan estas viviendas de adobe incrementan, la vivienda lo hace con ellos, y como una respuesta a esta dinámica social, la familia aumenta espacios en su vivienda. El problema radica en que se lo hace sin tomar en cuenta que

los muros deben trabarse para formar una estructura sólida que trabaje de forma conjunta, o en su defecto, generar estructuras separadas que tengan un comportamiento estructural individual.

Cuando las estructuras queda simplemente pegadas son más propensas a volcamientos, más aún si no se ha tenido en cuenta las proporciones en planta de la edificación, con lo que aumenta el riesgo de habitar en ese espacio.



Figura 37: Muros no trabados en adobe.

- **Ausencia de mantenimiento:**

La ausencia de mantenimiento es una causa común del deterioro de las edificaciones en adobe, pues al ser la tierra un material frágil necesita mayor cuidado que otros materiales. “Una simple teja rota o perdida puede permitir la entrada del agua sobre el viguerío del tejado y, de no repararse, acabará desembocando en la pudrición de una viga o rollizo y en la pérdida parcial o total de la cubierta. Cuando esto ocurre, se desencadena la degradación acelerada de los demás elementos constructivos del edificio, que quedan expuestos a la intemperie” (Gómez-Patrocinio, et al., 2006). Así mismo, la presencia de un alero deteriorado puede desencadenar problemas para la edificación por la escorrentía en los muros. “la pérdida por falta de mantenimiento de otros elementos, como los revestimientos, también contribuye a acelerar la degradación de las zonas de muro que quedan al descubierto y comienzan a ser lavadas por el agua de lluvia y erosionadas por el viento” (Gómez-Patrocinio, et al., 2006). Por ello es importante

mantener una inspección constante y sobre todo solucionar los deterioros identificados lo antes posible, para así evitar futuros problemas desencadenados por la falta de mantenimiento

Todas estas falencias y otras más que existen, ocasionarán que se presenten daños en la edificación, puesto a que acelerarán la degradación de los materiales, con lo que la estructura perderá su resistencia y sus capacidades mecánicas.



Figura 38: Vivienda de adobe con ausencia de mantenimiento

2.4.2. Principales daños en las construcciones en adobe.

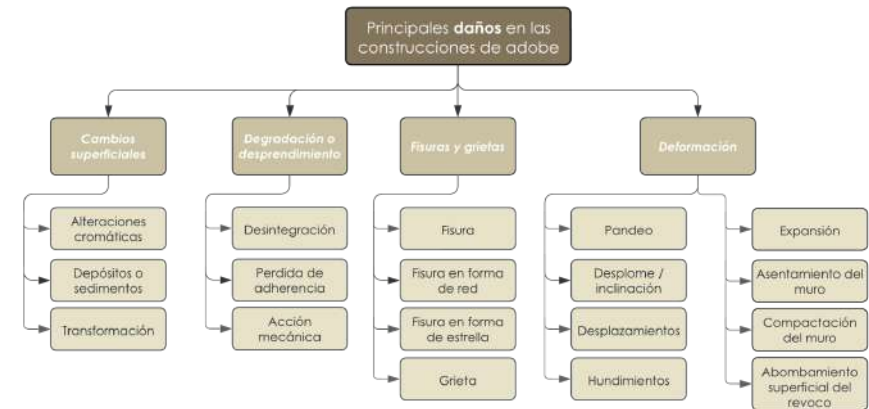


Figura 39: Mapa conceptual: Principales daños en las construcciones de adobe.

Los daños en las edificaciones de adobe son el reflejo de las patologías presentes en las construcciones, estos daños se producen por diversos factores y representan un peligro para los habitantes de estos inmuebles, pues podrían ocasionar accidentes que lleguen hasta el colapso de la estructura.

Estos daños pueden producirse por acciones durante la construcción o después que la obra ya está culminada, cuando se realizan acciones irresponsables u ocasionadas

por desconocimiento de las personas que ejecutan acciones en el proyecto. Por ello, es preciso identificar dichos daños, considerándolo como una herramienta preventiva para evitar consecuencias más graves en el futuro.

La definición y clasificación de los daños se la realiza de acuerdo al documento 'Atlas de Daños, edificaciones patrimoniales en Cuenca' del proyecto VliCPM de la Universidad de Cuenca. Donde los principales daños se dividen en:

2.4.2.1. Cambios superficiales.

Se producen cambios en la superficie del material, por lo que el elemento adquiere un aspecto diferente a su condición original, sin llegar a alterar la estructura interna. Estos cambios superficiales se subdividen en:

- **Alteraciones cromáticas:** En estas se incluyen la decoloración y manchas que se observa en la superficie de los elementos de la construcción.
- **Depósitos/sedimentos:** Aquí se presentan sustancias que se asientan sobre la superficie del material, estas cambian su

aspecto, sin llegar a producir alteraciones químicas. Se incluyen eflorescencias, suciedad, depósitos de pintura o *grafiti*, crecimiento biológico, pátina e incrustaciones.

- **Transformación:** Una parte de la superficie es transformada física y químicamente, alterando su color y forma. Aquí se incluye las costras.



Figura 40: Crecimiento biológico en muro de adobe.

2.4.2.2. Degradación y desprendimiento.

La degradación se produce cuando el material pierde consistencia, y el desprendimiento se da cuando la pérdida

es causada por acciones mecánicas. Las degradaciones y desprendimientos se subdividen en:

- **Desintegración:** Esta se produce cuando las partículas que conforman el material ya no están ligadas entre sí. Aquí se incluye la pérdida de material, la erosión, la expansión en forma de ampollas, pudrición del material y degradación por xilófagos.

- **Pérdida de adherencia:** Esta se origina cuando se pierde el vínculo entre los materiales. Por ejemplo: el vínculo entre el recubrimiento y mampostería. Causado por la calidad o incompatibilidad del mortero con el material. Aquí se encuentra el desprendimiento.

- **Acción mecánica.** Se incluyen en esta categoría los daños causados por el hombre u otro agente o mecanismo que no se relaciona directamente con el medio ambiente. Aquí se incluye las Rayaduras, corte, perforaciones, roturas, roturas de borde y desprendimiento-faltante.



Figura 41: Erosión de muro de adobe.

2.4.2.3. Fisuras y grietas.

La fisura o separación está limitada a la superficie del material, en tanto la grieta es de mayor sección y profundidad, afectando a su interior. Estos dos tipos de daños pueden afectar a una parte o totalidad del elemento. Las fisuras y grietas se subdividen en:

- **Fisura:** La fisura presenta una separación menor a 1.5 mm, esta se encuentra en la superficie del material.

- **Fisura en forma de red:** Se presenta como un conjunto de fisuras adyacentes y entrelazadas. Este tipo de fisuras no afectan estructuralmente al material.
- **Fisura en forma de estrella:** Son el conjunto de fisuras que inician en un punto central y se extienden en todas las direcciones.
- **Grieta:** La grieta presenta una separación mayor a 1.5 mm y atraviesa el elemento.



Figura 42: Grietas en muro de adobe.

2.4.2.4. Deformación.

Es la alteración de la forma original de un elemento que cambia de las características geométricas, longitud, sección, alineación, e incremento de volumen. Este daño puede afectar a todos los elementos del edificio en su conjunto o a una parte de ellos. Las deformaciones se subdividen en:

- **Pandeo:** Es la alteración de un elemento de construcción, que consiste en un cambio de su característica de horizontalidad y verticalidad original en forma de curva. (Flexión). Puede aparecer junto con grietas dependiendo de la rigidez del material.
- **Desplome / inclinación:** Es la deformación de un elemento vertical (pared) que consiste en una desviación del plano vertical o falta de plomo. No implica ningún incremento en su volumen del elemento. Puede aparecer junto con grietas.
- **Desplazamientos:** Es el traslado de un elemento, cambiando su posición original. Puede aparecer junto con grietas.

- **Hundimientos:** Es la depresión de la superficie provocada por cargas.
- **Expansión:** Es la alteración de un elemento constructivo, expresado por un incremento de su volumen y sección; además de la pérdida de resistencia.
- **Asentamiento del muro:** Es la depresión de un muro, provocada por hundimientos de la superficie donde se asienta, generalmente ocasionada por sobrecargas.
- **Compactación del muro:** Es ocasionada generalmente por una sobrecarga.
- **Abombamiento superficial de revoco:** Es ocasionada generalmente por la fractura del núcleo (Achig et al., 2013).



Figura 43: Desplome de muros de adobe.

Jaimes, M. (2015). *Riesgos Estructurales* [Fotografía].
<https://www.proteccioncivilasesorias.com/index.php/adobe/que-son-los-riesgos-estructurales>

2.5. Aproximación a los sistemas de reforzamientos en edificaciones de tierra cruda - adobe.

Los sistemas de reforzamiento para las construcciones de tierra tienen como objetivo aumentar la vida útil de las edificaciones, o retardar el tiempo de colapso de una estructura en riesgo para evitar pérdidas humanas. Además, se pueden utilizar al momento de construir una vivienda nueva de adobe, con el fin de tener una estructura resistente que nos prevenga de diferentes tipos de fallas ante

diferentes factores patológicos. Como se ha mencionado, las construcciones de adobe son vulnerables a varios tipos de deterioro, producido por: el agua, la temperatura, el viento, los sismos, entre otros. Es por ello que el reforzamiento de las construcciones de adobe puede ayudar a fortalecer la estructura y con ello prevenir daños que pongan en riesgo la integridad de la edificación.

El reforzamiento debería realizarse con un material dúctil, buscando que sea de fácil obtención y empleo, algunos de estos sistemas pueden incluir: caña, bambú, sogas, madera, mallas, geotextiles, entre otros, que serán estudiados en el siguiente capítulo, así también se detallará su implementación paso a paso.

Estos métodos de reforzamiento para construcciones de adobe han sido estudiados y se ha demostrado su efectividad. “A nivel internacional existen investigaciones relevantes de propuestas de refuerzo estructural para construcciones en adobe, testeadas en laboratorio y/o modeladas con elementos finitos, realizadas en importantes

centros de investigación como la Pontificia Universidad Católica de Lima, CRAterre, el Getty Conservation Institute y la Universidad de Aveiro, entre otras. En general, dichas propuestas tienen en común el buscar otorgar estabilidad a las obras de adobe, utilizando elementos como mallas o piezas de madera, que restringen el desplazamiento de los muros, previniendo los principales modos de falla y evitando el vaciamiento de los bloques de adobe en los muros, es decir, son propuestas que se preocupan del comportamiento global de la obra, asegurando su estabilidad estructural durante la fase inelástica y el comportamiento último sin colapsos súbitos o frágiles” (Torres, 2018)

Asimismo, autores como Ortega, Vaconcellos y Correia, plantean que el uso de sistemas que permiten incorporar ductilidad al muro como refuerzo, aseguran el buen comportamiento sísmico (Ortega, et al., 2018).

“Los refuerzos verticales ayudan a mantener la integridad del muro fijándolo a la cimentación y a la viga collar, de esta manera restringiendo la flexión perpendicular al plano de

corte coplanar. El refuerzo horizontal ayuda a transmitir la y las fuerzas de inercia en los muros transversales (perpendiculares al plano de sollicitación) hacia los muros que resisten el cortante, también restringen los esfuerzos de corte entre muros adyacentes y minimizan la de fisuras verticales. El refuerzo vertical y horizontal deben estar unidos entre sí y a los otros elementos estructurales (cimentación, viga collar, techo) Esta provee una matriz estable, que es de por sí más fuerte que sus componentes individuales. La colocación del refuerzo debe ser cuidadosamente planificada y las unidades deben ser fabricadas tomando provisiones especiales en cuanto a sus dimensiones" (Blondet, et al., 2003).

En conclusión, desde la concepción de la edificación se debe tener en cuenta las consideraciones básicas dispuestas en la normativa local o en nuestro caso en la que nos recomienda la NEC, siendo así la Norma E.080.

De igual manera, es importante considerar que nuestra región es altamente sísmica y que además el adobe es

vulnerable ante distintas patologías. Por ello es relevante profundizar en el conocimiento e implementación de sistemas de reforzamiento que no sean invasivos, para aplicarlos en construcciones nuevas o existentes. Asimismo, se debería monitorear estas viviendas, con ayuda de especialistas, para verificar su comportamiento y así obtener información que retroalimente los estudios previos.



C.03

**Sistemas de reforzamiento en
tierra cruda - adobe**

3.1. Introducción.

Existen varios sistemas de reforzamiento que ayudan a la estabilidad y resistencia de la estructura; estos han sido diseñados según las necesidades y problemas que generalmente ocurren en una edificación de adobe. No obstante, estos sistemas de reforzamiento no se encuentran compilados en un documento, en donde se detalle el procedimiento paso a paso para ejecutarlo de manera adecuada.

Es por ello que es necesario un manual que explique cómo implementar y ejecutar un sistema de reforzamiento, que contenga información técnica, material visual que incluya el proceso constructivo y recomendaciones necesarias que faciliten la interpretación del usuario; pues, como se ha mencionado, la mayoría de construcciones en tierra cruda son ejecutadas mediante autoconstrucción y sin personal técnico.

Adicionalmente, estas fichas buscan promover el uso de técnicas constructivas vernáculas que implementen:

materiales locales, económicos, de fácil acceso y de sencilla aplicación. Además, se busca que su uso pueda ser sostenible y reduzca el impacto ambiental, pues muchos de los materiales son de origen natural.

En este manual se plantea la implementación de diversos tipos de sistemas de reforzamiento, tanto para construcciones nuevas como existentes que necesiten mantenimiento. Además, se analizará la factibilidad de implementar sistemas de reforzamiento en edificaciones con valor patrimonial, pues existen normas para el tratamiento de este tipo de construcciones que buscan conservar la integridad y autenticidad de la edificación.

3.2. Análisis de los sistemas de reforzamiento a implementar en el manual.

Como se ha mencionado, existen varios sistemas de reforzamiento con diversos materiales. En este análisis se estudiarán los sistemas más importantes; que cuentan con estudios que han verificado su efectividad y buen comportamiento ante sismos; además que son de fácil acceso e implementación, entre estos tenemos:

3.2.1. Cuerdas o drizas.

Este sistema consiste en el reforzamiento mediante cuerdas que envuelven los muros de adobe de manera vertical y horizontal, formando una red que varía de tamaño de acuerdo a las dimensiones de los adobes que componen el muro, asegurando que la vivienda no colapse por efectos de fuertes sismos. "Cada cuerda, tanto vertical como horizontal, es tensada y amarrada, lo que genera una mejora en la resistencia que puede tener un muro de adobe ante un terremoto" (Giribas, 2017). La superposición de ellos da lugar a una malla que puede anudarse en las intersecciones con

una cuerda de menor diámetro, aumentando así la integridad y estabilidad de la estructura.



Figura 44: Sistema de drizas o cuerdas.

Giribas, C. (2017). *Sistema de Drizas: Reforzamiento estructural para construcciones en adobe* [Fotografía]. <https://www.archdaily.co/co/803675/sistema-de-drizas-reforzamiento-estructural-para-construcciones-en-adobe#:~:text=El%20sistema%20de%20Drizas%20consiste,un%20sismo%20de%20gran%20envergadura>

Así mismo, este sistema de drizas aporta ciertas ventajas con respecto a otros sistemas como las mallas metálicas o geomallas, siendo una mejor opción con respecto a estas. "Con geomalla o con malla electrosoldada, el uso de drizas supone ciertas ventajas respecto a dichos refuerzos, como lo

son el fácil acceso para disponer del material, el aspecto económico y que no solo actúa para evitar colapsos, sino además, mejora el comportamiento de la estructura ante un sismo" (Giribas, 2017).



Figura 45: Vivienda reforzada con drizas.

Giribas, C. (2017). *Sistema de Drizas: Reforzamiento estructural para construcciones en adobe* [Fotografía]. <https://www.archdaily.co/co/803675/sistema-de-drizas-reforzamiento-estructural-para-construcciones-en-adobe#:~:text=El%20sistema%20de%20Drizas%20consiste,un%20sismo%20de%20gran%20envergadura>

Según la Norma Peruana de la Construcción E080: "En caso se utilice refuerzos con mallas de sogas sintéticas (driza

blanca o similar) se debe tener las consideraciones siguientes:

- Utilizar diámetros de sogas sintéticas iguales o mayores a 5/32" (3.97 mm), salvo las sogas para unir las mallas de ambas caras del muro, cuyo diámetro debe ser mínimo de 1/8" (3.17 mm).
- Las mallas de refuerzo deben ser externas al muro y embutidas en el enlucido del mismo, lo que también sirve para la consolidación de construcciones existentes.
- Las mallas deben conformarse mediante lazos verticales y horizontales que confinen (envuelvan) el muro. Los lazos de confinamiento vertical deben estar convenientemente anclados a la cimentación y a la viga collar superior.
- Las mallas de cada cara del muro deben unirse en cada intersección de los lazos,
- La separación entre las sogas horizontales debe ser menor a 0.40 m en promedio para el tercio inferior a la altura del muro (sea la edificación de uno o dos pisos). Debe ser de 0.30 m en promedio para el tercio central y de 0.20 m en promedio

para el tercio superior (sin coincidir con la junta horizontal). La separación entre las sogas verticales debe ser menor a 0.40 m.

- El refuerzo horizontal debe coincidir con los niveles inferior y superior de los vanos" (NORMA E080, 2017).



Figura 46: Sistema de drizas, nudo.

Giribas, C. (2017). *Sistema de Drizas: Reforzamiento estructural para construcciones en adobe* [Fotografía].
<https://www.archdaily.co/co/803675/sistema-de-drizas-reforzamiento-estructural-para-construcciones-en-adobe#:~:text=El%20sistema%20de%20Drizas%20consiste,un%20sismo%20de%20gran%20envergadura>

3.2.2. Geomallas.

"Un estudio fue realizado por la Universidad Católica de Perú que consistía en una prueba sísmica en cinco modelos de vivienda a escala real de cuatro muros, recubiertos con geomallas plásticas amarradas en ambas caras de estos. Una vez realizado el estudio se concluyó que los muros reforzados con geomalla puede prevenir el colapso total o parcial de la vivienda, incluso durante terremotos severos. Las mallas deben estar bien amarradas en las dos caras del muro y se recomienda cubrirlas con mortero para evitar el daño de estas. Además, se demostró que las geomallas plásticas son compatibles y trabajan bien junto a los muros de adobe" (Blondet, et al., 2006).

Las geomallas son geo-sintéticos bidimensionales elaborados a base de materiales poliméricos compuestos de poliéster, polipropileno y polietileno. Consiste en una red regular de tiras tejidas que se cruzan, con aberturas apropiadas que permitan la trabazón de las partículas del suelo u otros materiales.

“El mecanismo principal de la geo-malla es la trabazón, que se consigue al penetrar los agregados en las aberturas de la geomalla, limitando el desplazamiento horizontal de los mismos, incrementando con ello la fricción con las capas superyacentes; así como la capacidad de las geo-mallas para absorber y distribuir esfuerzos. En suma, el compuesto suelo-reforzado ofrece mayor resistencia a las cargas estáticas y dinámicas” (Espinoza, et al., 2014).

Es por eso que existe una gran demanda de geo-malla en la construcción debido a que soportan grandes esfuerzos de tensión y tienen mayor capacidad de distribución de cargas en grandes áreas.



Figura 47: Geomallas.

Amanco. (2016). Geomallas [Fotografía].
<https://amancowavingeosinteticos.com/geomallas-uniaxiales/>

Existen diferentes tipos de geomallas que cumplen funciones específicas dependiendo la aplicación y el uso. Las más utilizadas son las geomallas: uniaxial, biaxial y triaxial. Cada uno cumple una función en construcciones específicas, pues estas presentan diversas resistencias a la tracción.

3.2.2.1. Geomallas uniaxiales.

Las geo-mallas uniaxiales están diseñadas con el objetivo específico de soportar la tensión en una sola dirección. “Se forman estirando las costillas en una dirección de longitud y

su resistencia a la tracción se estira en la dirección de la máquina. Esto significa que son perfectos para aplicaciones tanto en paredes como en pendientes, como muros de contención, sistemas de revestimiento de vertederos, terraplenes sobre suelos blandos y pendientes de terraplenes más empinadas" (GEOACE, 2019). Estas geomallas se aplican en situaciones donde la dirección de los esfuerzos principales mayores es conocida.



Figura 48: Geomalla uniaxial.

Amanco. (2016). Geomallas
<https://amancowavingeosinteticos.com/geomallas-uniaxiales/>

[Fotografía].

- **Aplicaciones:**

Según la empresa AMANCO: “Los principales usos de este tipo de mallas son:

- Estabilización de suelos blandos.
- Refuerzo de muros y taludes.
- Para construcción de vías, estacionamientos, estribos de aproximación en puentes, bordos para celdas de rellenos sanitarios, rampas de acceso, diques para canales y ríos, terraplenes respetando el derecho de vía, reconstrucción de taludes naturales.
- Con este sistema se logra que trabajen en conjunto los suelos friccionantes con su gran resistencia a la compresión y la geomalla con su gran capacidad para absorber y distribuir los esfuerzos de tensión.
- Las geomallas permiten crear taludes con cualquier inclinación, conservando los factores de seguridad requeridos” (AMANCO, s.f.).



Figura 49: Uso de geomallas uniaxiales.

Amanco. (2016). Geomallas [Fotografía].
<https://amancowavingeosinteticos.com/geomallas-uniaxiales/>

3.2.2.2. Geomallas biaxiales.

Son similares a las uniaxiales, con la diferencia de que actúa en dos direcciones. “Son estructuras bidimensionales... de alta resistencia a la tracción en sus dos direcciones y de alto módulo de elasticidad, además, permite una óptima trabazón con el suelo” (Espinoza, et al., 2014).

“Este tipo de geomallas se compone de elementos y nudos rígidos que permiten un gran confinamiento y se usan generalmente en la estabilización de suelos blandos. Poseen resistencia a la tensión en el sentido de su fabricación y también en el sentido transversal al anterior. Las geomallas bi-orientadas son efectivas para reforzar suelos granulares y pavimentos rígidos y flexibles” (Jimbo, 2012).



Figura 50: Geomallas biaxiales.

Amanco. (2016). Geomallas [Fotografía].
<https://amancowavingeosinteticos.com/geomallas-uniaxiales/>

Este tipo de mallas presenta algunas ventajas como una gran resistencia a la tensión, tiene una larga vida útil, permite fachadas paisajísticas, alta resistencia química, su costo es bajo a comparación a otros sistemas, es fácil de transportar y manejar.



Figura 51: Geomalla biaxial en muro.

Genatios, C. (s.f.). *Aplicación de geomalla en muro de adobe* [Fotografía].
https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-38-Prototipo-de-viviendas-de-adobe-reforzado-con-geomalla-en-la-Pontifica_fig28_340439331

3.2.2.3. Geomallas triaxiales.

Estas geomallas son utilizadas para mejorar aún más el nivel de rigidez de una superficie o estructura. "Las geomallas

triaxiales están hechas de una lámina de polipropileno perforada orientada en múltiples direcciones equiláteras para formar aberturas triangulares. Esto crea un producto más eficiente que ofrece una transferencia óptima de tensión en servicio desde el agregado a la geomalla" (GEOACE, 2019).

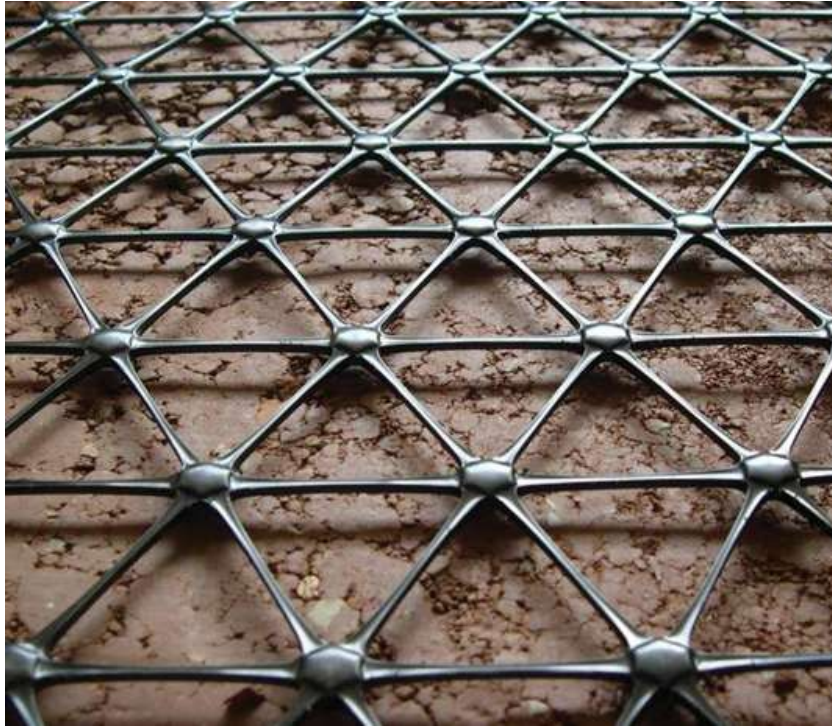


Figura 52: Geomallas triaxiales.

Amanco. (2016). Geomallas [Fotografía].
<https://amancowavingeosinteticos.com/geomallas-uniaxiales/>

- **Aplicaciones:**

- Estabilización, mejoramiento y rehabilitación de carreteras no pavimentadas y pavimentadas.
- Estabilización de suelos y terrenos.
- Construcción y mejoramiento de cimientos.

- Muros.
- Aplicación de minería en techos subterráneos, mejoramiento de superficies.
- Talud y muros de contención.



Figura 53: Aplicación geomalla triaxial.

Amanco. (2016). Geomallas [Fotografía].
<https://amancowavingeosinteticos.com/geomallas-uniaxiales/>

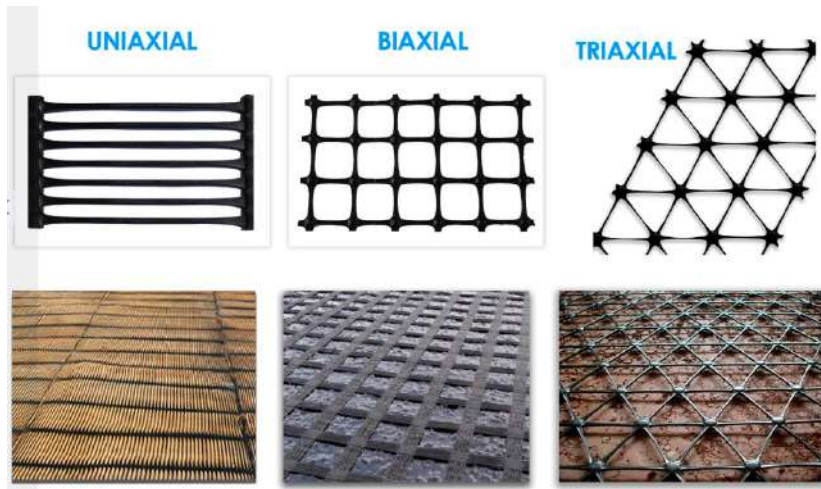


Figura 54: Tipos de geomallas.

ForTexs. (2018). Tipos de Geomallas [Imagen].
<https://www.facebook.com/ForTexsPeru/photos/a.1846921128888143/2024513947795526/>

Al ser un material resistente que soporta grandes esfuerzos, se ha utilizado como un sistema de refuerzo para muros de adobe, haciéndolos más resistentes frente a cargas provocadas por los sismos. "Este sistema está diseñado como confinamiento para los muros de adobe, impulsando así la autoconstrucción de una manera segura. La geomalla se instala después de levantado el muro de adobe, envolviendo el muro en sus caras exterior e interior,

Posteriormente, se limpia el muro, se humedece y se procede a recubrir con revoco de barro" (Espinoza, et al., 2014).

La Norma Peruana de la Construcción indica que: "En caso se utilice refuerzo de mallas sintéticas de nudos integrados (geomallas), el refuerzo debe ser externo y embutido en el enlucido. La geomalla, constituida por material sintético, debe reunir las características necesarias para ser usada como refuerzo de edificaciones de tierra, tales como:

- Conformación de retícula rectangular o cuadrada, con o sin diagonales interiores, con abertura máxima de 50 mm. y nudos integrados.
- Capacidad mínima de tracción de 3,5 kN/m, (356.9 kgf/m) en ambas direcciones, para una elongación de 2%.
- Flexibilidad y durabilidad para su uso como refuerzo embutido en tierra.
- Consideraciones de uso:
 - Los muros portantes y no portantes, incluyendo los vanos, deben envolverse con las geomallas, tensándolas

uniformemente. Deben conectarse las geomallas de ambas caras de los muros con cuerdas sintéticas, con una separación máxima de 0.30 m.

- La geomalla debe estar convenientemente anclada a la base del sobrecimiento y a la viga collar superior.
- El uso de otro tipo de mallas, solo es permitido si acredita su capacidad sismorresistente en ensayos cíclicos a escala natural" (Norma E.080, 2017).

3.2.3. Malla metálica.

En un estudio realizado por la Universidad Católica de Perú se indica que: "se trata de plantear una teoría simple que permita el diseño estructural del refuerzo sísmico a viviendas de adobe típicas del Perú y los países andinos. El refuerzo consiste en adicionar mallas de alambre electrosoldadas sobre los muros de adobe de las viviendas. Como conclusión se obtuvo que el sistema de mallas metálicas ayuda en la rigidez y estabilidad de los muros de adobe , trabajando en

conjunto al igual que los otros sistemas de reforzamiento existentes" (Quiun, et al., 2015).

Las mallas metálicas o redes metálicas son configuraciones que están compuestas por alambres o cables de acero, estos usualmente se encuentran protegidos por capas de zinc o acero inoxidable para mayor resistencia y protección frente al ambiente. La unión de estos alambres o cables forman un tejido, que forman intersecciones y que pueden ser amarrados o soldados. "Es un producto de alambre de acero que lo hace muy resistente para cualquier tipo de trabajo, debido a su forma de tejido uniforme y trabajo exacto" (Cribas, s. f.).

Las mallas metálicas tienen diferentes usos en la construcción o incluso en diferentes áreas, es uno de los materiales más usados con diferente funcionalidad. "La alta demanda del uso de las mallas metálicas se debe a su gran variedad y multiuso, se puede usar para delimitar el perímetro de un terreno o realizar un cerramiento que prohíba el paso de

animales, además hay otros tipos que se usan como jaulas de conejos y todo tipo de aves" (Ávila, et al., 2022).

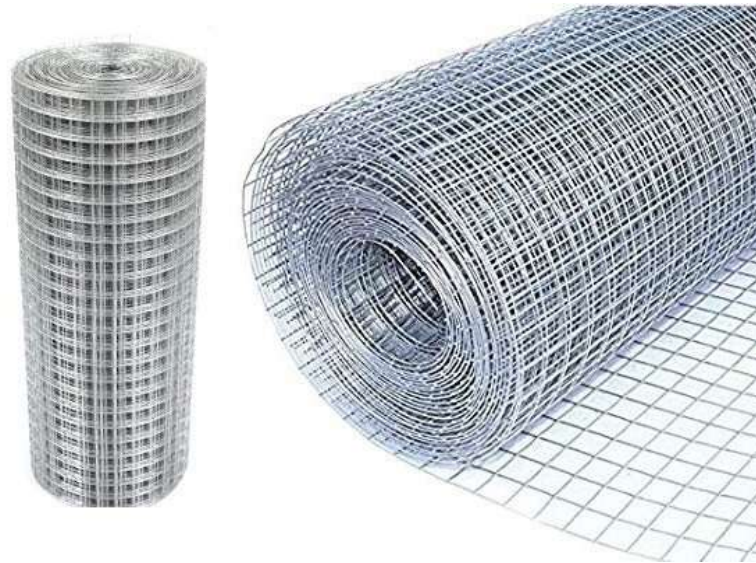


Figura 55: Mallas metálicas.

Ganagro. (s.f.). Mallas metálicas [Imagen].
<https://ganagro.ec/producto/malla-metalica-electrosoldada-century-1x1-2-30-metros/>

La elaboración de las mallas dependerá del uso que se requiera, pueden ser más gruesas o más finas. “Su elaboración se basa en seleccionar el calibre del alambre a usarse dependiendo del uso que se le vaya a dar a la malla,

posteriormente se procede al tipo del trenzado de igual forma dependiendo la implementación que se le vaya a dar. El trenzado se elabora por medio de una hilandera mecánica que hila los alambres en la forma que se requiera” (Materials World, s.f.).



Figura 56: Elaboración de mallas metálicas.

Ganagro. (s.f.). Mallas Metálicas [Imagen].
<https://ganagro.ec/producto/malla-metalica-electrosoldada-century-1x1-2-30-metros/>

- **Tipos de malla metálica.**

Existen en el mercado una gran cantidad de tipos de mallas de acuerdo al calibre del alambre, medidas y trenzado. Sus aberturas pueden ser cuadradas, rectangulares o en forma de diamante. Estos tipos pueden ser:

3.2.3.1. Malla metálica de simple torsión.

Es considerada la malla más tradicional, su trenzado de forma romboidal está tejido con alambre de una sola torsión, caracterizada por ser económica y eficaz para todo tipo de cerramientos. (Ver figura 57)

3.2.3.2. Malla metálica de triple torsión.

Está conformada por dos alambres galvanizados entrelazados entre sí por medio de tres torsiones unidas en sentido inverso sin nudos de fijación para evitar cortes, consiguiendo una malla resistente a la intemperie. (Ver figura 58).

3.2.3.3. Plancha de acero malla.

"Este tipo de malla es una plancha con orificios en forma de diamante. (Ver figura 59) Se usa para crear separaciones, barandillas, rejas y escaleras" (Materials World, s.f.).

3.2.3.4. Malla metálica con tejido sencillo.

"Posee un tejido tenso y resistente debido a que está elaborada por un trenzado de alambres con aspecto de apertura apretada. La industria de la construcción usa comúnmente esta malla en protecciones y aplicaciones arquitectónicas por su eficaz rigidez" (Ávila, et al., 2022).

3.2.3.5. Malla electrosoldada.

Se caracteriza por estar formado con alambres longitudinales y transversales unidos perpendicularmente mediante soldaduras eléctricas (ver figura 60). Es muy resistente a la corrosión y oxidación.



Figura 57: Malla metálica de simple torsión.

Torres, J. (s.f.). *Mallas Metálicas para la construcción* [Fotografía].
<https://mallasjuliotorres.com/malla-de-triple-torsion/>



Figura 58: Malla metálica de triple torsión.

Torres, J. (s.f.). *Mallas Metálicas para la construcción* [Fotografía].
<https://mallasjuliotorres.com/malla-de-triple-torsion/>

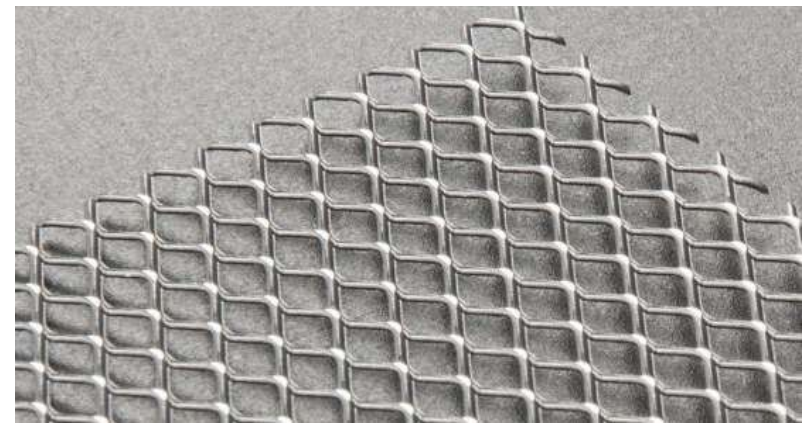


Figura 59: Plancha de acero malla.

Torres, J. (s.f.). *Mallas Metálicas para la construcción* [Fotografía].
<https://mallasjuliotorres.com/malla-de-triple-torsion/>



Figura 60: Malla electrosoldada.

Torres, J. (s.f.). *Mallas Metálicas para la construcción* [Fotografía].
<https://mallasjuliotorres.com/malla-de-triple-torsion/>

El uso de las mallas metálicas como material de reforzamiento en los muros de adobe aportan una mayor resistencia ante los movimientos sísmicos. “La resistencia del muro reforzado con geomalla y malla metálica es cinco veces mayor al muro de adobe simple, además el refuerzo ayuda a que el muro no se desintegre aun cuando haya colapsado. Los valores obtenidos son comparables con una mampostería de ladrillo clase B” (Saldivar, 2011).

En un estudio realizado por Saldivar et al. en el 2016 indica que: “se realizó un modelo reforzado con malla metálica, debido a que es de más fácil acceso para toda la población que la geomalla. En este estudio se demostró que el uso de malla metálica aumenta la rigidez y evita el colapso de la construcción, generando como consecuencia de los movimientos solamente daños menores. Se concluye que el sistema funcionaría mejor si se vincula la malla con la cimentación, ya que el daño se produjo al separarse el modelo de la base. No hubo daño en significativo en dinteles ni separación de muros” (Saldivar, et al., 2016).

La norma E.080 indica que: “la malla de alambre se puede usar como refuerzo exterior al muro, anclado adecuadamente a él, y protegido con una capa de mortero de cemento-arena. Las mallas en las dos caras del muro se unirán mediante elementos de conexión a través del muro. No se ofrecen procedimientos de análisis ni de diseño. Por ello, este trabajo contribuye a brindar un procedimiento

sencillo de análisis y diseño estructural basado en las leyes de la mecánica" (NORMA E080, 2017).

"Para el reforzamiento se debe colocar la malla metálica a ambos lados del muro, y vincularlas con pasadores de alambre galvanizado. Posteriormente, se cubre con revocado" (Albarracin, et al., 2016).



Figura 61: Colocación y recubrimiento malla metálicas en muro.

Torres, J. (s.f.). *Aplicación de mallas Metálicas para la construcción* [Fotografía]. <https://mallasjuliotorres.com/malla-de-triple-torsion/>

Además, existe otro estudio de la Pontificia Universidad Católica de Perú, que indica que las mallas deben ser usadas solamente en los puntos más frágiles, de este modo bajar el costo y tiempo de intervención. Para este caso se utilizan las mallas electrosoldadas, que simulan vigas y columnas de confinamiento en muros de mampostería, cumplen la misión

de integrar los muros de adobe transversales entre sí, de modo que ante las fuerzas de sismos, se evite la separación de estos muros. “Las mallas a diseñar son las esquineras (similares a “columnas”) y las longitudinales a colocar en los bordes superiores de los muros (similares a “vigas soleras”). Este diseño aplica para viviendas de adobe existentes y nuevas. Debe considerarse que si una capa de malla no fuese suficiente, puede emplearse dos y hasta tres capas” (Bartolome, et al., 2015).

Estas mallas no necesitan ser ancladas ni en la cimentación ni en el techo , por esta razón para viviendas existentes no se necesita desmontar la cubierta. “Los muros de adobe se deforman principalmente por fuerza cortante, existiendo poca curvatura por flexión” (Bartolome, et al., 2015).



Figura 62: Mallas electrosoldadas esquineras.

Solis, M. (2015). Aplicación de mallas metálicas en muros de adobe [Fotografía]. <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/4406/5075>

3.2.4. Tiras de nylon.

“Se instala en el borde del muro, en sentido horizontal y vertical. Se usa *nylon* tejido flexible que pasa por aberturas pequeñas en el muro y son amarrados firmemente. Se usa en combinación con un marco de madera. Este sistema funciona muy bien para reducir el riesgo de colapso del muro” (Blondet, et al., 2003)

3.2.5. Maderas de confinamiento.

“Para este tipo de reforzamiento se colocan maderas de manera horizontal y vertical que ayuden a mejorar la resistencia a flexión y mantener la unión de los muros. Al igual que los refuerzos con malla con vena, se debe colocar en la cara externa e interna. Este reforzamiento debe trabajar como un sistema compuesto de tierra y madera, para lo que se instalan pernos cada 50 cm y puntillas sobre las tablas para generar una superficie rugosa” (Phillips, 2007).



Figura 63: Sistema de maderas de confinamiento.

Solis, M. (2015). *Aplicación de maderas de confinamiento en muros de adobe* [Fotografía].<https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/4406/5075>

Existe un estudio realizado por Ruiz, en el que: “se aplica esta técnica en un modelo a escala de una casa, en Colombia, de tapia de dos plantas. En el modelo con refuerzo no hubo ningún colapso parcial ni total, y se presentaron menor cantidad de fisuras que en modelo sin refuerzo. Además, se registró una disminución en los desplazamientos, ya que incrementa la capacidad de disipación de la energía del sismo” (Ruiz, 2016).

3.2.6. Cañas de refuerzo.

En este sistema de reforzamiento se utilizan cañas de manera horizontal y vertical dentro de los muros de adobe al momento de construir los muros. Según Blondet: “Es importante señalar que con este sistema se debe emplear uniones de mortero de 6 a 8 cm de espesor debido a que se debe recubrir las cañas al menos 2 cm por cada lado, además que los adobes deben ser rugosos para que pueda tener una buena adherencia con el mortero. Las cañas horizontales se colocan aplastadas cada cuatro hiladas de mortero” (Blondet, 2011).

Según la Norma Peruana de la Construcción: “La caña debe ser de carrizo (hueca) o caña brava (sólida), completas, de 25 mm de diámetro aproximado como refuerzo vertical y chancado tipo carrizo o guadua angustifolia (sin dañarlas) como refuerzo horizontal.

Además, se recomienda colocar refuerzos de cañas (o similares) horizontales cada cuatro hiladas en el tercio inferior de la altura del muro (sea la edificación de 1 o 2 pisos), cada

tres hiladas en el tercio central y cada dos hiladas en el tercio superior. Como máximo, cada cuatro hiladas” (Norma E.080, 2017).



Figura 64: Procedimiento sistema de refuerzo de cañas.

Blondet, M. (2003). *Construcciones de Adobe Resistentes a los Terremotos: Tutor* [Fotografía].
https://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2011/06/Adobe_Tutorial_Spanish_Blondet.pdf

3.2.7. Tensores de acero.

En este sistema se coloca en los muros tensores verticales y horizontales en sus dos caras. “Los tensores son varillas de acero de media pulgada de diámetro con $F_y = 420 \text{ MPa}$, con tornillos soldados en los extremos” (López, 2007). Estos se colocan con el fin de disminuir los esfuerzos de tensión.



Figura 65: Sistema con tensores de acero.

López, C. (2007). *Rehabilitación sísmica de muros de adobe de edificaciones monumentales mediante tensores de acero* [Fotografía]. https://www.researchgate.net/publication/28228200_Rehabilitacion_sismica_de_muros_de_adobe_de_edificaciones_monumentales_mediante_tensores_de_acero

“Para instalar las varillas se debe hacer regatas en el muro e instalar en los extremos perfiles de acero A36 unidos mediante soldadura (ver figura 66). Después se tensaron las

varillas con una llave inglesa para ir apretando las tuercas, hasta alcanzar una fuerza de 20 KN" (Serrano, 2020).



Figura 66: Perfiles de acero.

López, C. (2007). *Rehabilitación sísmica de muros de adobe de edificaciones monumentales mediante tensores de acero* [Fotografía]. https://www.researchgate.net/publication/28228200_Rehabilitacion_sismica_de_muros_de_adobe_de_edificaciones_monumentales_mediante_tensores_de_acero

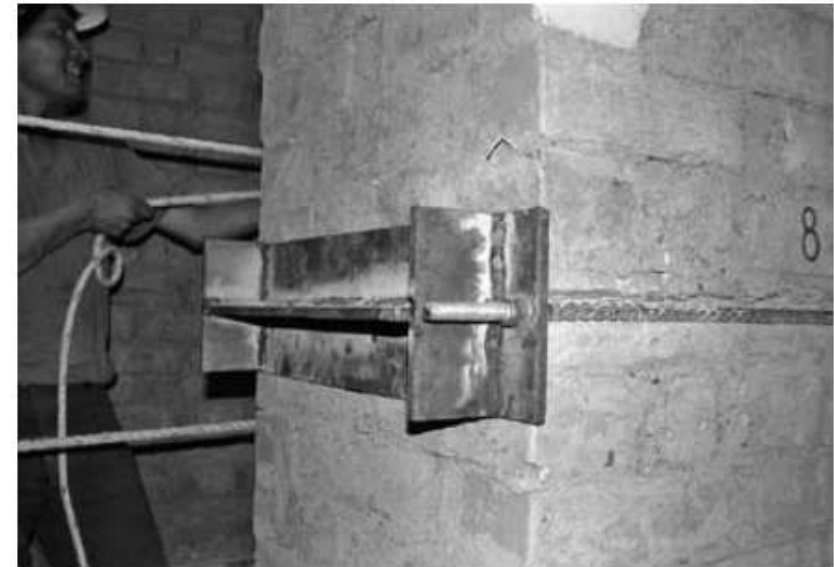


Figura 67: Unión de tensores y perfiles.

López, C. (2007). *Rehabilitación sísmica de muros de adobe de edificaciones monumentales mediante tensores de acero* [Fotografía]. https://www.researchgate.net/publication/28228200_Rehabilitacion_sismica_de_muros_de_adobe_de_edificaciones_monumentales_mediante_tensores_de_acero

Un ensayo realizado por la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, concluye que: "al final del ensayo, los muros no presentaron daños de importancia en la zona central. Sin embargo, se generaron grietas en las esquinas superiores e inferiores que precisamente corresponden a las zonas no confinadas por los tensores de acero. Mediante los ensayos

seudo-dinámicos no se logró llevar al colapso los muros reforzados, como si ocurrió con los muros sin ningún tipo de refuerzo, debido a que se alcanzaron los desplazamientos máximos del sistema de aplicación de cargas. Sin embargo, debe mencionarse que los muros fueron llevados a derivas promedio que fueron 85% superiores a las alcanzadas por los muros sin ningún tipo de refuerzo. En la etapa final de los ensayos, los muros giraban a manera de cuerpo rígido, presentándose fallas concentradas en las esquinas. La zona que estaba confinada por los tensores de acero no presentó ninguna grieta de tensión ni de cortante y se mantuvo la integridad del sistema" (López, 2007).



Figura 68: Ensayo de muros con tensores de acero.

López, C. (2007). *Rehabilitación sísmica de muros de adobe de edificaciones monumentales mediante tensores de acero* [Fotografía]. https://www.researchgate.net/publication/28228200_Rehabilitacion_sismica_de_muros_de_adobe_de_edificaciones_monumentales_mediante_tensores_de_acero

Para la correcta elección del sistema a utilizar se pueden tomar ciertas consideraciones que se muestran a continuación en un cuadro comparativo (Ver figura 69).



Figura 69: Cuadro consideraciones de los sistemas de reforzamiento.

3.3. Manual de sistemas de reforzamiento

El manual se ha incluido como un anexo al presente documento. (Ver anexo).

En conclusión, existen diferentes materiales, con características y propiedades diferentes, que al aplicarse como un sistema de reforzamiento cumplen con la función de brindar al muro mayor estabilidad y así proporcionan mayor resistencia a los esfuerzos.

Un manual que abarque varios sistemas es de gran importancia en el estudio de sistemas de reforzamiento, pues es la compilación de la información más destacada sobre dicho tema. Aun así, este manual se plantea como un documento colaborativo al que se le puede agregar más sistemas e información si así lo amerita.

Conclusiones y recomendaciones.

La elaboración del manual para la aplicación de sistemas de reforzamiento en construcciones de tierra cruda - adobe, se llevó a cabo mediante la indagación y compilación de varios sistemas de reforzamiento. Este manual está dirigido a la población que todavía construye en adobe o a quienes poseen aún viviendas de este tipo; además, a quienes buscan construir en adobe junto con técnicas contemporáneas, alcanzando así los objetivos propuestos.

Se ha logrado realizar un manual para el usuario, que contiene elementos esenciales para reforzar muros de adobe y así obtener construcciones seguras, prevenir daños en las construcciones existentes e incluso patrimoniales, sin la necesidad de la participación activa de un profesional de la construcción.

Se ha buscado implementar sistemas no tan invasivos para las viviendas patrimoniales y además se ha priorizado la seguridad y la vida de los habitantes, sobre las normas

básicas de la conservación de las edificaciones patrimoniales, con el objetivo de evitar el colapso de la edificación.

Se recomienda en viviendas patrimoniales continuas que generalmente se encuentran en centros históricos, buscar el apoyo de los colindantes, pues para reforzarlas es necesario intervenir los muros propios y los contiguos en conjunto. Este método no ha sido ensayado, por ello se recomienda abarcar este tema en una investigación futura.

Se ha investigado sobre el sistema constructivo, su normativa y principales elementos, esto como parte del entendimiento de las construcciones vernáculas de adobe. Gracias a ello se ha podido comprender el modo de construcción de este sistema y se ha encontrado cuáles son las principales falencias, patologías, y daños. Con ello se han analizado estrategias preventivas para la construcción.

Se ha investigado sobre los procesos constructivos de los sistemas de reforzamiento, y se ha evidenciado que existen varios materiales que pueden ser utilizados. Sin embargo, el

principio básico de estos sistemas es el mismo, el cual consiste en generar una malla alrededor de todos los muros de la edificación que permita trabajar como una unidad a la estructura, y de este modo aumentar su resistencia.

Se recomienda que los sistemas de reforzamiento se apliquen en construcciones existentes, con muros que mantienen su integridad estructural, caso contrario, primero se debe acudir a un manual de reparaciones de muros.

Finalmente, luego de considerar los aspectos fundamentales que debe contener el manual, se obtuvo un instructivo que se basa en las investigaciones de institutos y universidades, sobre todo en pruebas sismográficas simuladas de laboratorio que han tenido un resultado favorable, además de la Norma Peruana de la Construcción. Este contiene procedimientos claros de cada sistema, ilustraciones, dimensiones, especificaciones de los materiales, mano de obra, herramienta necesaria y costos aproximados, con el objetivo esclarecer cualquier duda que se le pueda presentar al usuario. Es importante mencionar que algunos

sistemas no se han incluido en el manual porque, no tienen estudios que los respalden o tienen poco fundamento. Pese a ello, se recomienda la investigación de estos sistemas para futuros estudios.

Líneas futuras de investigación.

- Indagar en sistemas de reforzamiento menos estudiados con la posibilidad de incluirlos en el manual.
- Generar un cuadro comparativo de los sistemas de reforzamiento para determinar cuál es el que mejor se podría aplicar en nuestro medio.
- Estudiar los costos reales para la aplicación de los sistemas de reforzamiento.
- Investigar el modo de aplicación de los sistemas de reforzamiento en viviendas patrimoniales continuas.
- Generar un archivo audiovisual, para facilitar la comprensión de los sistemas de refuerzo.

Referencias bibliográficas:

- Achig, M. C., Zúñiga, M., Van-Balen, K., & Abar, L. (2013). Sistema de registro de daños para determinar el estado constructivo en muros de adobe. *Maskana*, 4(2), 71–84. <https://doi.org/10.18537/mskn.04.02.06>
- Achig, M. C., Zúñiga, M., García, G., Aguirre, A., Galán, N., Barsallo, G., & Briones, J. C. (2016). Atlas de daños edificaciones patrimoniales de Cuenca. Vlr CPM. (Obra original publicada en 2016)
- AIS. (s.f.). Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada.
- Albarracín, O.; Saldivar, M.; Garino, L.; Navarta, G. (2014). Reforzamiento de estructuras de adobe con mallas metálicas. In: *Arquitectura de Tierra: Patrimonio y Sustentabilidad en Regiones Sísmicas*, Correia, M.; Neves, C.; Núñez, D., San Salvador, El Salvador.
- Ávila, J. R., & Garzón, C. P. (2022). Reforzamiento del adobe con malla metálica para el mejoramiento de las condiciones resistentes (Bachelor's thesis). Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/37968>
- Bartolomé, A., & Quiun, D. (2015). Diseño de mallas electrosoldadas para el reforzamiento sísmico de viviendas de adobe típicas del Perú. *Revista de la Facultad de Ingeniería, U.C.V.*, 30(1), 71–80.
- Blondet, J. M.; Villa, G., & Brzev, S. (2003). Construcciones de adobe resistentes a los terremotos: Tutor. OAKLAND, CALIFORNIA. EERI. Recuperado de: <http://www.world-housing.net/tutorials/adobe-tutorials>
- Blondet, M. (2010a). Casas sismorresistentes y saludables de adobe reforzado con cuerdas. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica de Perú.
- Blondet, M. (2010b). Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas. Fondo Editorial de la Universidad Católica de Perú.
- Blondet, M., Vargas, J., Tarque, N., & Iwaki, C. (2011). Construcción sismorresistente en tierra: la gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica del Perú. *Informes De La Construcción*, 63(523). Recuperado de: <https://doi.org/10.3989/ic.10.017>
- Blondet, M., Serrano, M., Rubiños, A., & Mattsson, E. (2015). La experiencia de capacitación de una comunidad andina en construcción sismorresistente con adobe. *Siacot*, 15.
- Canavesi, L. E. (2021). Protocolo de construcción con tierra: Adobe, BTC, Tapial y Mortero.
- Cárdenas-Haro, X., Tarque, N., Todisco, L., & León, J. (2023) Loss Estimation for Typical Adobe Façades of Cuenca (Ecuador) Due to Earthquake Scenarios, *International Journal of Architectural Heritage*, 17:5, 788-814, DOI: 10.1080/15583058.2021.1977417
- Castro, W. (2005). Alternativas de rehabilitación de muros de adobe y tapia pisada. Universidad de los Andes.
- Ceballos, P. (1992). Las construcciones en tierra en Ecuador. *Innovaciones tecnológicas. Revista INVI*, 7(16), 18–25
- Cevallos, P. (2015). La construcción con tierra en el Ecuador y la necesidad de la norma. *Siacot*, 15.

Chiappero, R., & Supisiche, M. C. (2003). ARQUITECTURA EN TIERRA CRUDA Breves consideraciones sobre la conservación y la restauración.

Craven, J. (2006a). Adobe is the mud brick you'll learn to love. ThoughtCo. Recuperado de: <https://www.thoughtco.com/what-is-adobe-sustainable-energy-efficient-177943>

Craven, J. (2006b). All About Adobe - Sustainable and Energy Efficient. ThoughtCo. Recuperado de: <https://www.thoughtco.com/what-is-adobe-sustainable-energy-efficient-177943>

Cribas, R. (s.f.). Mallas metálicas. Mallas de Alambre. Recuperado de: <https://mallasdealambre.com/mallas-metalicas.html#:~:text=Las%20mallas%20metálicas%20se%20utilizan,tejido%20uniforme%20y%20trabajo%20exacto.>

Del Río, M., & Sainz, A. (s.f.) "La evolución de los sistemas constructivos en tierra". En: Construcción con tierra. Tecnología y Arquitectura. Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2010/2011. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2011. P. 57-68. Recuperado de: http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2011/2011_9788469481073_p057-068_delrio.pdf

El adobe, el conocimiento de la construcción tradicional - ECUADOR - CRESPIAL. (2018). CRESPIAL, Cusco, Perú. Recuperado de: <https://crespial.org/el-adobe-el-conocimiento-de-la-construccion-tradicional-ecuador/>

Espinoza, P. A., & Ruilova, C. R. (2014). Uso de geomallas y elementos de madera en la restauración de muros de adobe (Bachelor's thesis). Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20894>

Gattupalli, A. (2022a). Pioneros en el renacimiento de la arquitectura con tierra: Egipto, Francia e India. ArchDaily en Español. Recuperado de: https://www.archdaily.cl/cl/993094/pioneros-en-el-renacimiento-de-la-arquitectura-con-tierra-egipto-francia-e-india?ad_campaign=normal-tag

Gattupalli, A. (2022b). La ciencia de la arquitectura en tierra. ArchDaily en Español. Recuperado de: https://www.archdaily.cl/cl/992336/la-ciencia-detras-de-la-resiliencia-de-la-arquitectura-en-tierra?ad_campaign=normal-tag

GEOACE. (2019). Geomallas. GEOACE. Perú. Recuperado de: <https://www.geoaceperu.com/blog/que-es-una-geomalla-usos/#:~:text=Las%20geomalla%20uniaxial%20está%20diseñada,la%20dirección%20de%20la%20máquina.>

Giribas, C. (2017). Sistema de Drizas: Reforzamiento estructural para construcciones en adobe. ArchDaily Colombia. Recuperado de: <https://www.archdaily.co/co/803675/sistema-de-drizas-reforzamiento-estructural-para-construcciones-en-adobe#:~:text=El%20sistema%20de%20Drizas%20consiste,un%20sismo%20de%20gran%20envergadura>

Gómez-Patrocinio, F., Mileto, J., Vegas, C., & Soriano, F. (2016). Procesos patológicos en muros de adobe. Panorama general de los mecanismos de degradación del adobe en la arquitectura tradicional española.

- González, F. (1890). Historia general de la República del Ecuador. Tomo primero / escrita por Federico González Suárez. Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes. Recuperado de: <https://www.cervantesvirtual.com/obra/historia-general-de-la-republica-del-ecuador-tomo-primer-923723/>
- Guerrero Baca, L. F. (2009). Tradición constructiva con tierra. En UNESCO, Artesanos de arquitectura de tierra en América Latina y el Caribe. La técnica, la tradición oral y formas de transmisión del oficio (págs. 27-47). Tlaxcala, México.
- INEC. (2010). Base de Datos-Censo de Población y Vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-de-poblacion-y-vivienda-2010/>
- INPC. (2011). Arquitectura tradicional en Azuay y Cañar.
- Jamieson, R. W. (2003). De Tomebamba a cuenca: Arquitectura y arqueología colonial. Universidad de Cuenca.
- Jara, D., Rodas, T., & Caldas, V. (2015). Las innovaciones tecnológicas como respuesta a las debilidades y aprovechamiento de potencialidades en el sistema constructivo tradicional del adobe. Siacot, 15.
- Jimenez, J., Cabrera, J., Sánchez, J., & Avilés, F. (2018). Vulnerabilidad sísmica del patrimonio edificado del Centro Histórico de la Ciudad de Cuenca: Lineamientos generales y avances del proyecto. Maskana, 9(1), 59–78.
- Jurado, S. (2019). Estudio de la configuración geométrica y material de viviendas de construcción vernácula en un sector de Cuenca [Trabajo de grado inédito]. Universidad de Cuenca.
- Lachini, A. (s.f.). Sistema de drizas, un refuerzo a los muros de adobe. Armando Antonio Iachini Lo Medico | Construcciones Yamaro. Recuperado de: <https://armandoiachini.com/armando-antonio-iachini-lo-medico/enterate-sistema-de-drizas-un-refuerzo-a-los-muros-de-adobe/>
- Lara, L. (2017). Patología de la construcción en tierra cruda en el área andina ecuatoriana. Auc, 32, 31–41.
- Lara, L., & Bustamante, R. (2022). Caracterización y patología de los muros de tierra de las construcciones andinas ecuatorianas. Revista Politécnica, 49(2).
- López, C., Ruiz, D., Jerez, S., Quiroga, P., & Díaz, E., & Escamilla, J. (2007). Rehabilitación sísmica de muros de adobe de edificaciones monumentales mediante tensores de acero. Apuntes: Revista de estudios sobre patrimonio cultural - Journal of Cultural Heritage Studies, ISSN 2011-9003, Vol. 20, N°. 2, 2007 (Ejemplar dedicado a: Arquitectura en tierra), págs. 304-317. 20.
- Malo, G. M., Garcia, G. E., & Tamayo, J. D. (2017). Valoración de la arquitectura vernácula de Azuay y Canar. Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra "Tierra - Identidades". Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/38493>.
- Minke, G. (2001a). Manual de Construcción en tierra. Fin de Siglo. (Obra original publicada en 1994).
- Minke, G. (2001b). Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra (2a ed.). Universidad de Kassel.
- Morales, R., Torres, R., Rengifo, L., & Irala, C. (1993). Manual para la construcción de viviendas de adobe. CISMID.

- NORMA E080. (2017). Diseño y construcción con tierra reforzada.
- Orellana, V. C. (2017). Adobe, puesta en valor y estrategias para la conservación de una cultura constructiva (Master's thesis). Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28182>
- Pons, G. (s.f.). Características generales del adobe como material de construcción - EcoSur: Tejas de Concreto, Cemento Puzolánico, Adobe, EcoMateriales. Ecosur. Recuperado de: <https://ecosur.org/index.php/es/ecomateriales/adobe/712-caracteristicas-generales-del-adobe-como-material-de-construccion>
- Reyes, D., & Phillips, J. (2007). Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada. Apuntes: Revista de estudios sobre patrimonio cultural - Journal of Cultural Heritage Studies, ISSN 2011-9003, Vol. 20, N°. 2, 2007 (Ejemplar dedicado a: Arquitectura en tierra), pags. 286-303. 20. 10.11144/Javeriana.apu20-2.evsvr.
- Reyes, J., Yamin, L., Smith, P., & Galvis, F. (2019). In-plane seismic behavior of full-scale earthen walls with openings retrofitted with timber elements and vertical tensors. Springer Nature.
- Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., & Vaca, S. (2007). Breves fundamentos sobre los terremotos en Ecuador. Corporación Editora Nacional.
- Rodríguez, M. A., Monteagudo, I., Saroza, B., Nolasco, P., & Castro, Y. (2011). Aproximación a la patología presentada en las construcciones de tierra. Algunas recomendaciones de intervención. Informes De La Construcción, 63(523), 97–106. <https://doi.org/10.3989/ic.09.007>
- Salas, J. (1987). La tierra, material de construcción. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. (Obra original publicada en 1987)
- Serrano, J. (2020). Construcción en tierra en países de riesgo sísmico y reforzamiento sismorresistente. estado del arte. [Trabajo de fin de master inédito]. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Torrevalva, D. (2007). Caracterización de daños, reparación y refuerzo en construcciones de adobe.
- Torres, C., & Jorquera, N. (2018). Técnicas de refuerzo sísmico para la recuperación estructural del patrimonio arquitectónico chileno construido en adobe. Informes de la Construcción, 70(550): e252. <https://doi.org/10.3989/ic.16.128>
- Vidal, A. (2020, 12 de julio). EL ADOBE [Video]. YouTube. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=rgj012ZFqTA>
- World, M. (s.f.). Tipos de mallas metálicas y sus usos | Servei Estació. Servei Estació. Recuperado de: <https://serveiestacio.com/blog/tipos-mallas-metalicas-y-usos/#:~:text=La%20plancha%20de%20acero%20malla,orificios%20en%20forma%20de%20diamante.>
- Yajamin, A. (2008). Análisis del reforzamiento estructural de una edificación de tipo patrimonial, aplicación del estudio en la residencia Ibarra-camacho construida en 1930 [Trabajo de Grado inédito]. Escuela Politécnica del Ejército.
- Yamín, L. E., Phillips, C., Reyes, J. C., & 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). Recuperado de: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.apu20-2.evsvr>



Anexos

Manual para el reforzamiento de construcciones de adobe



Índice

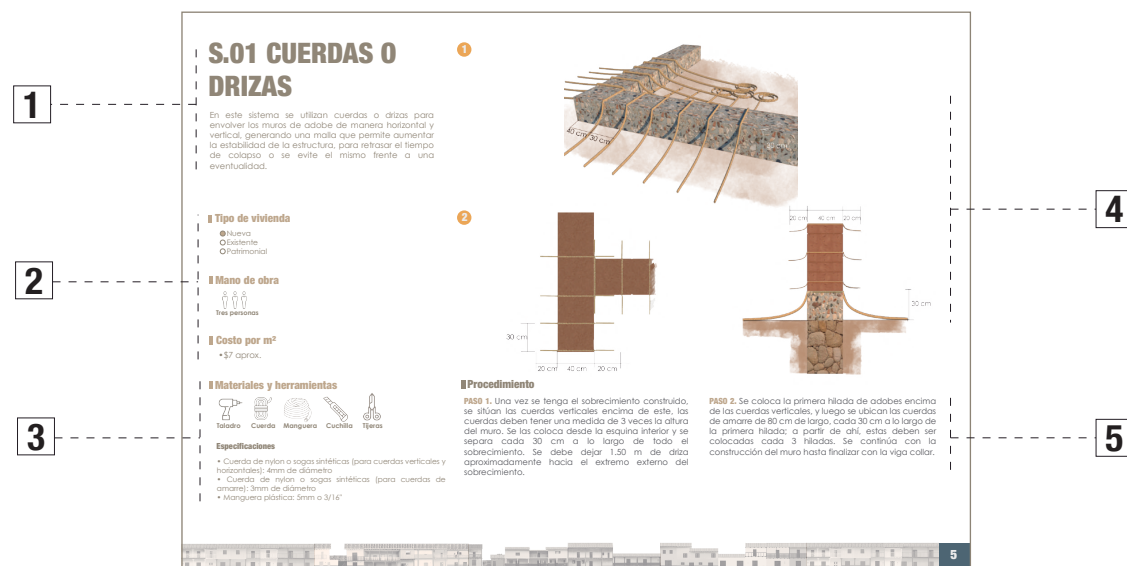
de contenidos:

<i>Modo de uso del manual.....</i>	<i>3</i>
<i>S.01. Cuerdas o drizas (viviendas nuevas).....</i>	<i>4</i>
<i>S.02. Cuerdas o drizas (viviendas existentes o patrimoniales).....</i>	<i>8</i>
<i>S.03. Geomallas.....</i>	<i>11</i>
<i>S.04. Cañas de refuerzo.....</i>	<i>15</i>
<i>S.05. Mallas metálicas.....</i>	<i>18</i>
<i>S.06. Tensores de acero.....</i>	<i>21</i>
<i>S.07. Maderas de confinamiento.....</i>	<i>24</i>
<i>S.08. Esterilla de guadua.....</i>	<i>27</i>
<i>Conclusiones y recomendaciones.....</i>	<i>29</i>



Modo de uso

manual para el reforzamiento de construcciones de adobe:



1. Título y descripción del sistema de reforzamiento.

2. Consideraciones para el sistema de reforzamiento.

3. Materiales, herramientas y especificaciones para el sistema de reforzamiento.

4. Detalle gráfico de los pasos para realizar el reforzamiento.

5. Texto de los pasos y recomendaciones para realizar el reforzamiento.



S.01

Cuerdas o drizas

(Viviendas nuevas)

S.01 CUERDAS O DRIZAS

En este sistema se utilizan cuerdas o drizas para envolver los muros de adobe de manera horizontal y vertical, generando una malla que permite aumentar la estabilidad de la estructura, para retrasar el tiempo de colapso o se evite el mismo frente a una eventualidad.

■ Tipo de vivienda a intervenir

- Nueva
- Existente
- Patrimonial

■ Mano de obra mínima



Tres personas

■ Costo por m²

• \$7 aprox.

■ Materiales y herramientas



Taladro



Cuerda



Manguera



Cuchilla

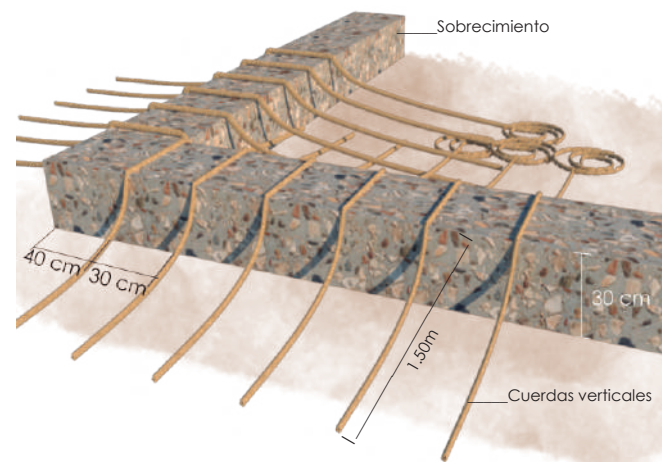


Tijeras

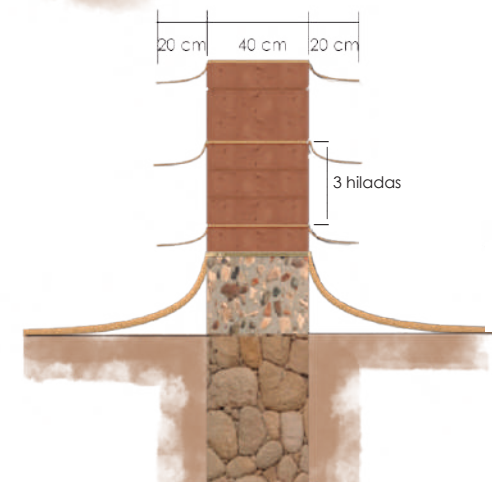
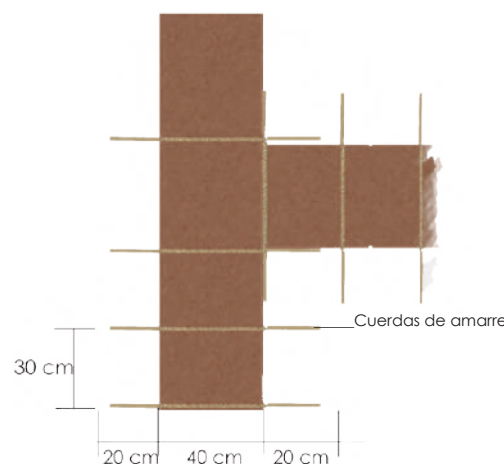
Especificaciones

- Cuerda de nylon o sogas sintéticas (para cuerdas verticales y horizontales): 4mm de diámetro
- Cuerda de nylon o sogas sintéticas (para cuerdas de amarre): 3mm de diámetro
- Manguera plástica: 5mm o 3/16"

1



2

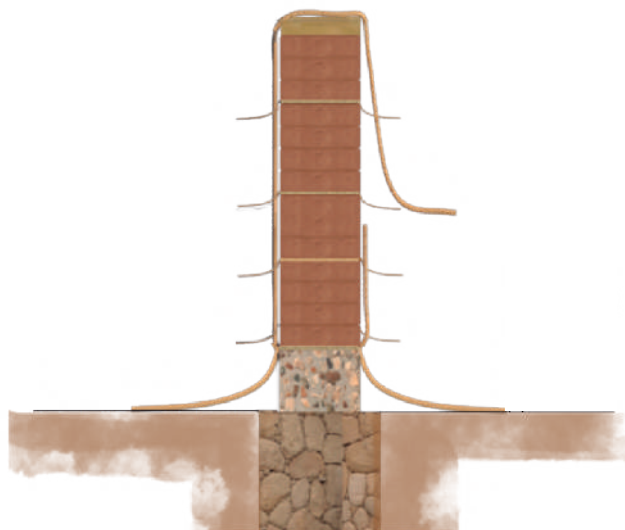


■ Procedimiento

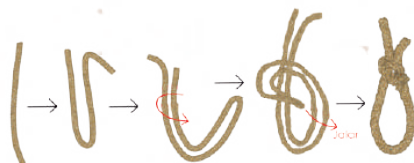
PASO 1. Una vez se tenga el sobrecimiento construido, se sitúan las cuerdas verticales encima de este, las cuerdas deben tener una medida de 3 veces la altura del muro.

Se las coloca desde la esquina interior y se separa cada 30 cm a lo largo de todo el sobrecimiento. Se debe dejar 1.50 m de cuerda hacia el exterior de la edificación.

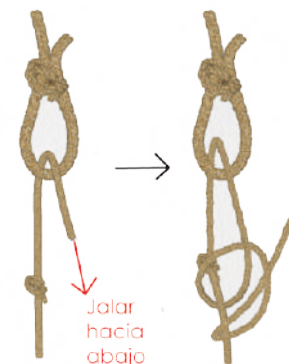
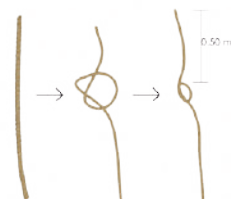
PASO 2. Se coloca la primera hilada de adobes encima de las cuerdas verticales, y luego se ubican las cuerdas de amarre de 80 cm de largo, cada 30 cm a lo largo de la primera hilada; a partir de ahí, estas deben ser colocadas cada 3 hiladas. Se continúa con la construcción del muro hasta finalizar con la viga collar.



• Nudo para driza superior:



• Nudo simple para driza inferior:



■ Procedimiento

PASO 3. Se envuelve el muro con las cuerdas verticales, pasando por encima de la viga collar. Así se obtiene, una parte superior que queda colgada y una inferior de 1.50m.

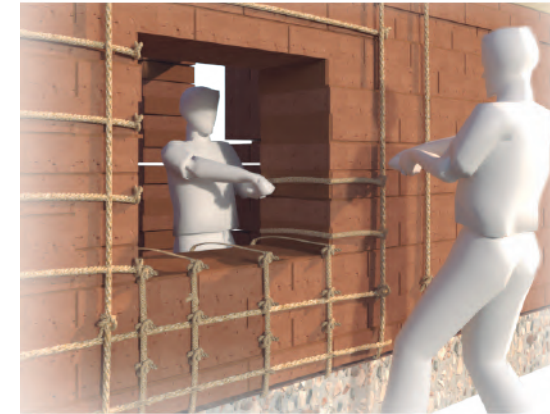
Luego, para tensar y amarrar la cuerda, se realizan los siguientes pasos:

- En la driza superior debe hacerse una U y formar un nudo de dos cordones para crear un lazo.
- En la driza inferior debe hacerse un nudo simple a 50 cm de su extremo. La driza inferior se pasa a través del lazo superior y se jala hacia abajo, ayudándose con el propio peso del constructor.
- Se debe mantener la tensión con la mano más hábil y con la otra mano apretar el lazo contra el muro donde la driza inferior pasa por el lazo.
- Finalmente, con la mano hábil, hacer tres nudos simple debajo del nudo.

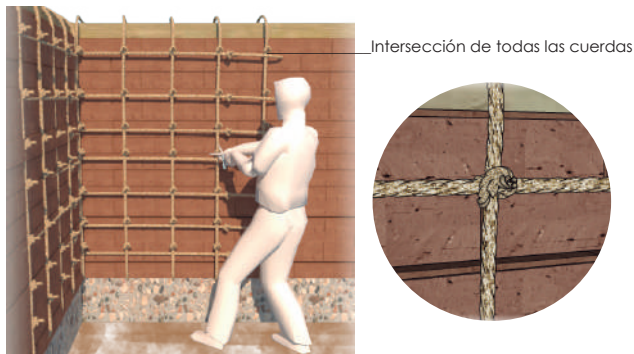
4



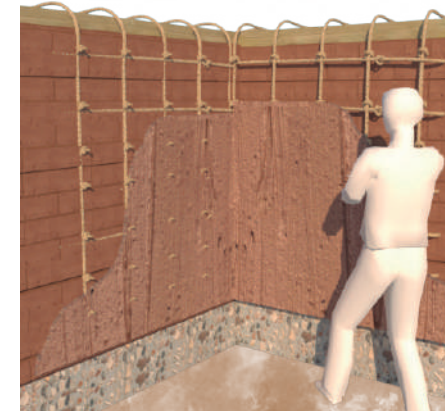
5



6



7



■ Procedimiento

PASO 4. Luego de haber tensado y anudado cada una de las cuerdas verticales del muro, deben envolverse las cuerdas horizontales, estas deben coincidir en la intersección de las cuerdas verticales con las conectoras.

Además, se debe perforar los muros, para que las cuerdas horizontales puedan anudarse, estas se tensan y amarran de la misma forma que lo hacen las cuerdas verticales.

PASO 5. Para vanos de puertas o ventanas, las cuerdas deberán envolver los muros tanto vertical y horizontalmente, por cada lado.

PASO 6. Se fija la malla de cuerdas contra la pared, usando las cuerdas conectoras, que son amarradas con nudos simples a cada intersección de malla de todo el muro.

PASO 7. Finalmente, se aplica el revestimiento de barro y paja.



S.02

Cuerdas o drizas

(Viviendas existentes o patrimoniales)

S.02 CUERDAS O DRIZAS

(Viviendas existentes)

En este sistema se utilizan cuerdas o drizas para envolver los muros de adobe de manera horizontal y vertical, generando una malla que permite aumentar la estabilidad de la estructura, para retrasar el tiempo de colapso o se evite el mismo frente a una eventualidad.

■ Tipo de vivienda a intervenir

- Nueva
- Existente
- Patrimonial

■ Mano de obra mínima



Tres personas

■ Costo por m²

• \$7 aprox.

■ Materiales y herramientas



Taladro



Cuerda



Manguera



Cuchilla

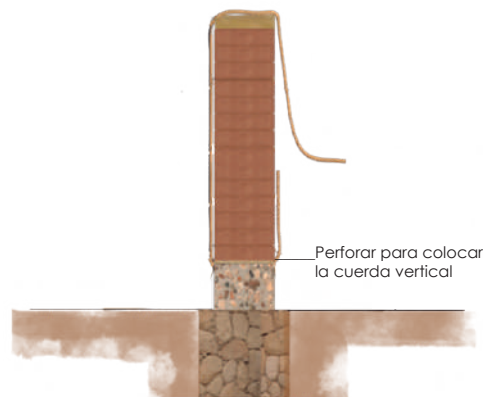


Tijeras

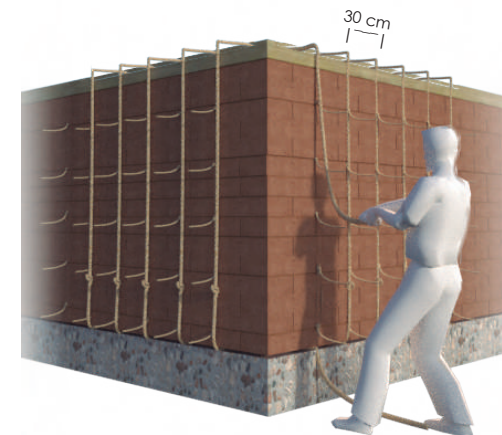
Especificaciones

- Cuerda de nylon o sogas sintéticas (para cuerdas verticales y horizontales): 4mm de diámetro
- Cuerda de nylon o sogas sintéticas (para cuerdas de amarre): 3mm de diámetro
- Manguera plástica: 5mm o 3/16"

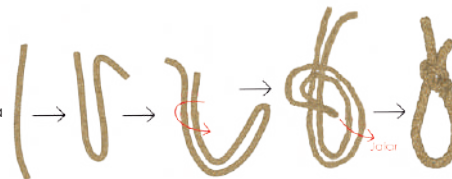
1



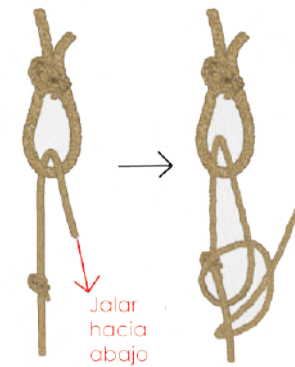
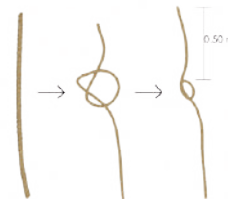
2



• Nudo para driza superior:



• Nudo simple para driza inferior:



■ Procedimiento

PASO 1. Al realizar este paso se debe retirar los elementos necesarios para poder trabajar sobre la viga collar. Para colocar las cuerdas verticales, se efectúan perforaciones por encima del sobrecimiento. Se coloca la primera cuerda desde la esquina interior del muro y se las sitúa cada 30 cm.

Luego, se atraviesan las perforaciones con las cuerdas verticales, estas deben tener una medida de 3 veces la altura del muro. Se debe dejar 1.50 m de driza aproximadamente hacia el extremo externo del sobrecimiento.

PASO 2. Se envuelve el muro con las cuerdas verticales, pasando por encima de la viga collar. Así se obtiene, una parte superior que queda colgada y una inferior de 1.50m.

Luego, para tensar y amarrar la cuerda se sigue el siguiente procedimiento. (Ver paso 3 amarre de cuerdas en sistema de drizas para viviendas nuevas)

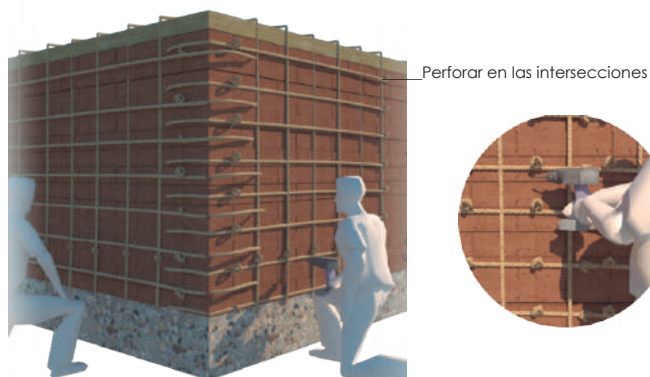
3



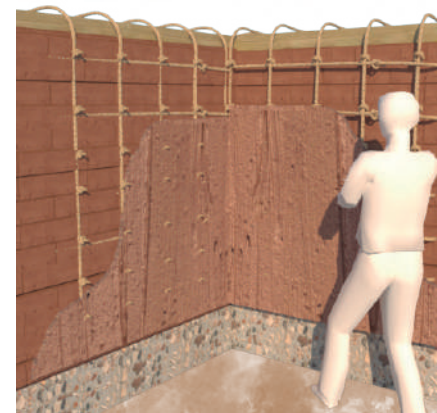
4



5



6



Procedimiento

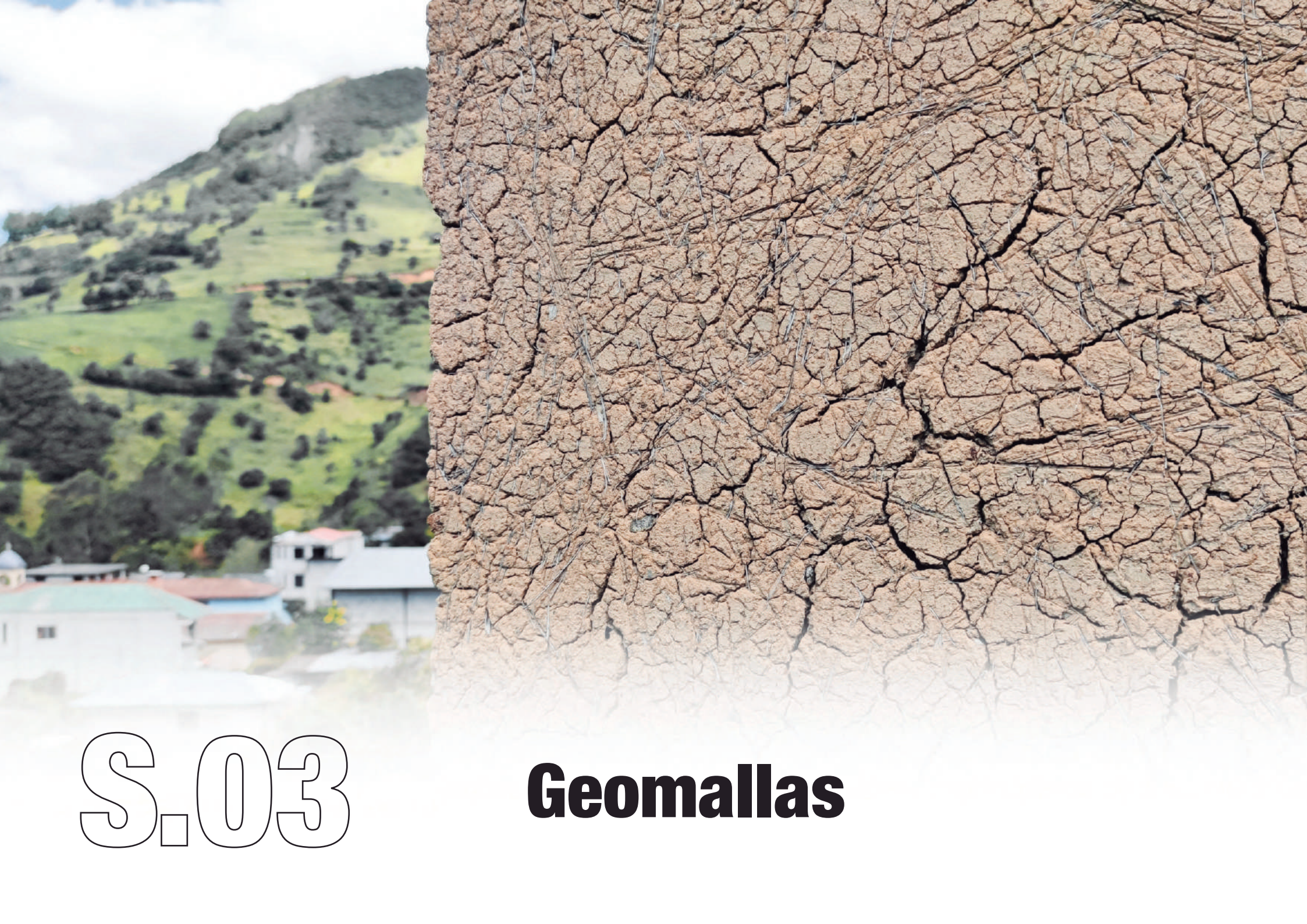
PASO 3. Luego de haber tensado y anudado cada una de las cuerdas verticales del muro, deben envolverse las cuerdas horizontales, estas deben coincidir en la intersección de las cuerdas verticales con las conectoras.

Además, se debe perforar los muros, para que las cuerdas horizontales puedan anudarse, estas se tensan y amarran de la misma forma que lo hacen las cuerdas verticales.

PASO 4. Para vanos de puertas o ventanas, las cuerdas deberán envolver los muros tanto vertical y horizontalmente, por cada lado.

PASO 5. Se debe realizar perforaciones en el muro, en donde coincida cada intersección de la malla de cuerdas. Luego, se atraviesan en esas perforaciones las cuerdas conectoras de 80 cm, estas se amarran a las intersecciones con nudos simples para fijar la malla contra el muro.

PASO 6. Finalmente, se aplica el revestimiento de barro y paja.



S.03

Geomallas

S.03 GEOMALLAS

En este sistema se utilizan geomallas para envolver los muros de adobe, de esta manera confinando la estructura para que trabaje como una unidad de este modo aumentando la estabilidad de la estructura, para retrasar el tiempo de colapso o se evite el mismo frente a una eventualidad.

■ Tipo de vivienda a intervenir

- Nueva
- Existente
- Patrimonial

■ Mano de obra mínima



Tres personas

■ Costo por m²

•\$7 aprox.

■ Materiales y herramientas



Geomalla



Soguilla



Grapas



Cuchilla

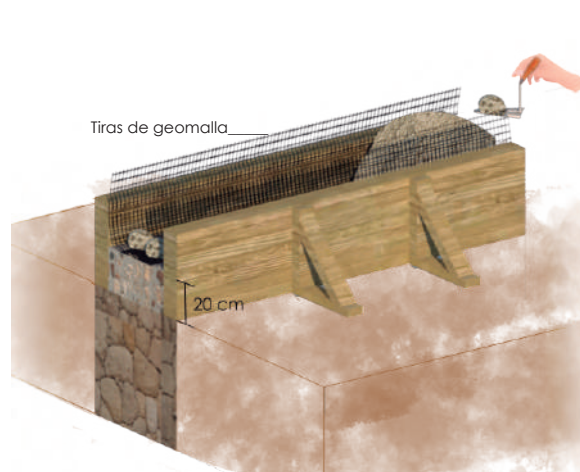


Tijeras

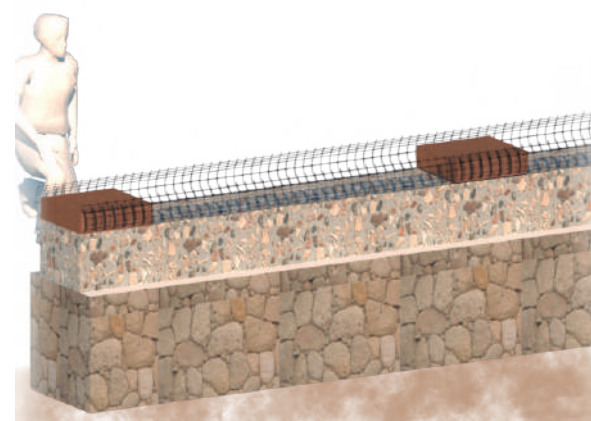
Especificaciones

- Geomalla: Retícula rectangular o cuadrada, con o sin diagonales interiores, con abertura máxima de 50 mm y nudos integrados.
- Grapas de acero galvanizado: 30 x 3.8 mm.
- Soguilla o cintas: polipropileno.

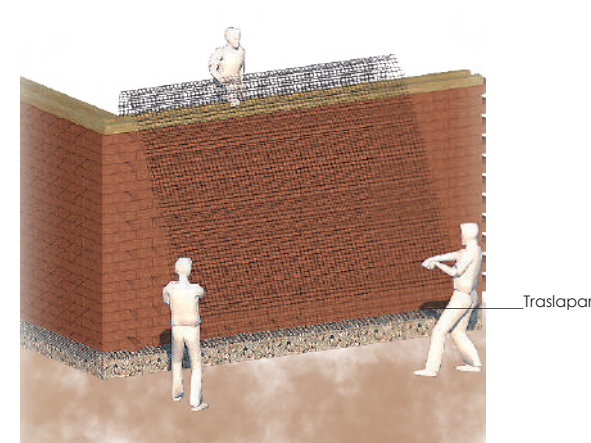
1



2



3



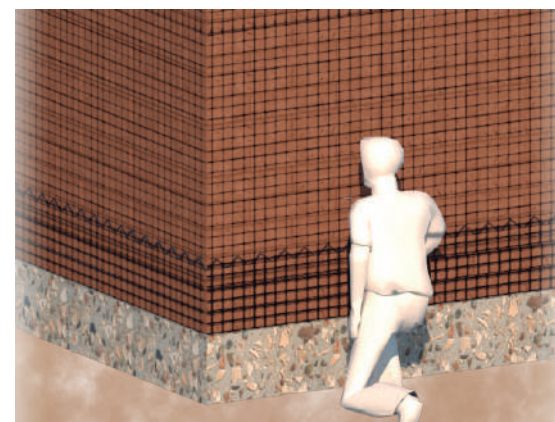
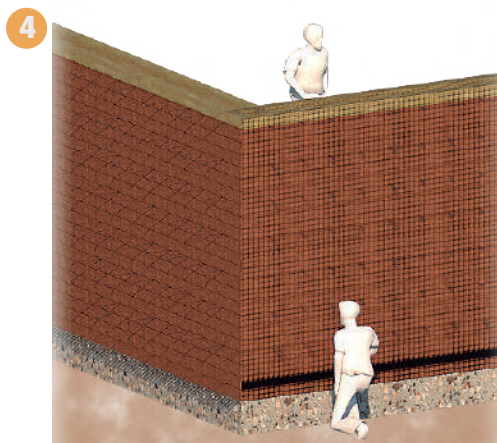
■ Procedimiento

PASO 1. En la construcción del sobrecimiento, este se llena hasta alcanzar una altura de 20 cm. Luego, se colocan las tiras de geomalla previamente cortadas con 1m de ancho, a lo largo de todo el sobrecimiento. Se colocan piedras medianas encima de la geomalla con el fin de que se mantenga firme, y se termina de llenar el sobrecimiento hasta alcanzar la altura de 30 cm.

PASO 2. Se coloca la primera hilada de adobes, y sobre esta, se coloca un grupo de 4 cuerdas (soguillas de plástico, cintas de nylon o cinta de agua). Estas sirven para amarrar la geomalla.

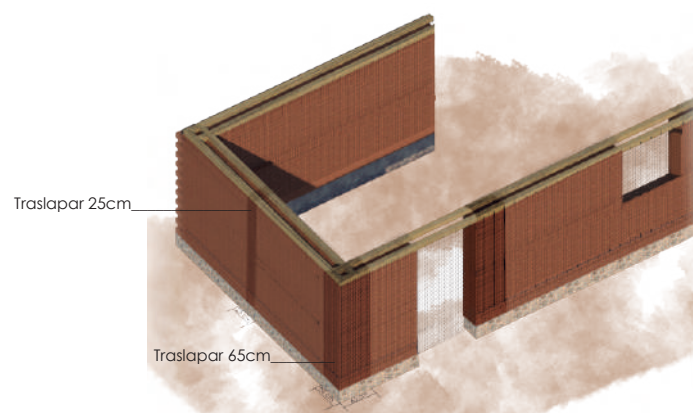
Las cuerdas deben ser de 70 cm de largo y deben sobresalir 15 cm a cada lado del muro. Cada grupo de cuerdas deben tener un espaciado de 30 cm y se colocan a lo largo de todo el muro. A partir de ahí se coloca el grupo de cuerdas cada 3 hiladas de adobe.

PASO 3. Una vez finalizado el muro hasta la viga collar, se limpia la superficie (la limpieza se realiza con una escoba o un bailejo). Luego, se coloca la geomalla principal, la cual envuelve la cara interna y externa del muro, traslapándola por encima de la que sobresale del sobrecimiento.

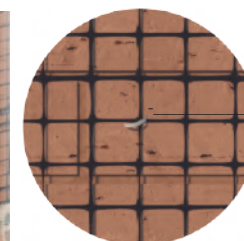
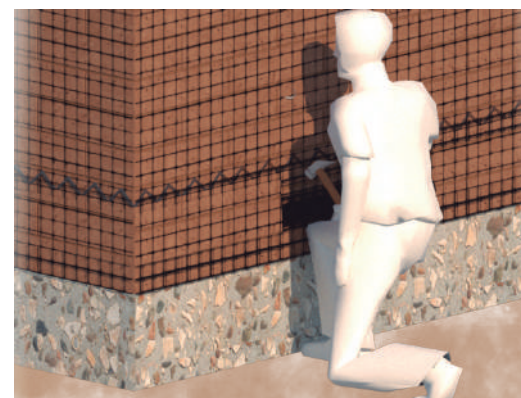


Tejer las geomallas

5



6



Grapa de acero

Procedimiento

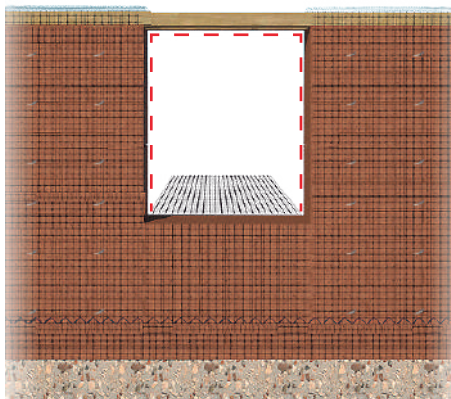
PASO 4. Se fija la geomalla usando las cuerdas de amarre con nudos simples. La geomalla debe quedar bien ajustada contra la pared. Por último, se anclan las 2 geomallas mediante un tejido con cuerda, amarrándolas y uniéndolas fuertemente.

PASO 5. Se coloca la malla en todos los muros de la vivienda, tomando en cuenta que las geomallas deben traslaparse por lo menos 25 cm en pared llana. Y en las esquinas las mallas deben traslaparse 65 cm, una sobre otra. Estos deben amarrarse y tejerse fuertemente con las cuerdas.

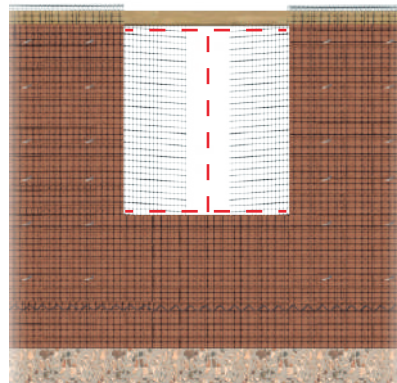
PASO 6. En los lugares donde no esté pegada la geomalla, esta se fija con grapas de acero. No se debe clavar ni dañar la geomalla, ya que su resistencia disminuirá.



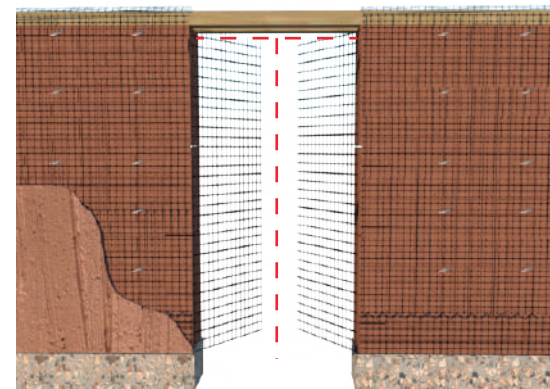
7



Cara interna



Cara externa



Puerta

8



Procedimiento

PASO 7. Para abrir los vanos de ventanas y puertas se debe cortar la malla de esta manera:

- En la cara interna del muro se corta la geomalla por los lados laterales y superior de la ventana, el sobrante se dobla hacia abajo.
- Para la cara externa del muro, la geomalla se corta en la parte superior e inferior de la ventana y de manera vertical por la mitad y se dobla a cada lado envolviendo el muro.
- Para los vanos de puertas, se corta en la parte superior de la geomalla y se corta por la mitad, esto en la cara interior y exterior, y se dobla a cada lado.

Luego de cortar y doblar, se debe tejer fuertemente en el encuentro entre geomallas, con ayuda de las cuerdas.

PASO 8. Una vez finalizado el muro hasta la viga collar, se limpia la superficie (la limpieza se realiza con una escoba o un bailejo). Luego, se coloca la geomalla principal, la cual envuelve la cara interna y externa del muro, traslapándola por encima de la que sobresale del sobrecimiento.



S.04

Cañas de refuerzo

S.04 CAÑAS DE REFUERZO

En este sistema se utilizan cañas que se colocan dentro de los muros de adobe que van desde el sobrecimiento hasta la viga collar, estas funcionan como un refuerzo adicional. Se colocan refuerzos verticales y horizontales que permite aumentar la estabilidad y rigidez a la estructura, para retrasar el tiempo de colapso o se evite el mismo frente a una eventualidad.

■ Tipo de vivienda

- Nueva
- Existente
- Patrimonial

■ Mano de obra



Tres personas

■ Costo por m²

- \$4 aprox.

■ Materiales y herramientas



Cañas



Alambre



Playo



Martillo

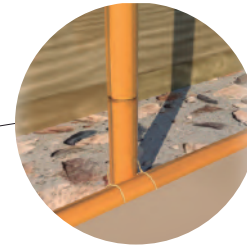
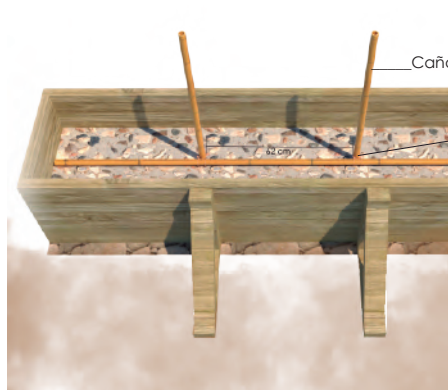


Serrucho

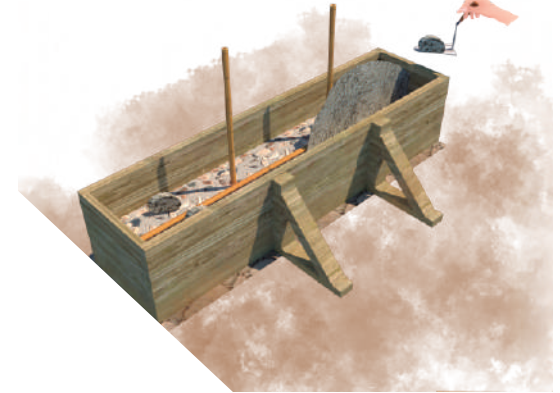
Especificaciones

- Caña: 1 pulgada de diámetro.
- Alambre: galvanizado N.º 18

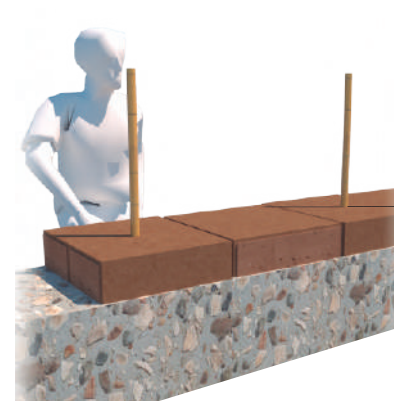
1



Fundir el sobrecimiento



2



Realizar hendiduras en el adobe

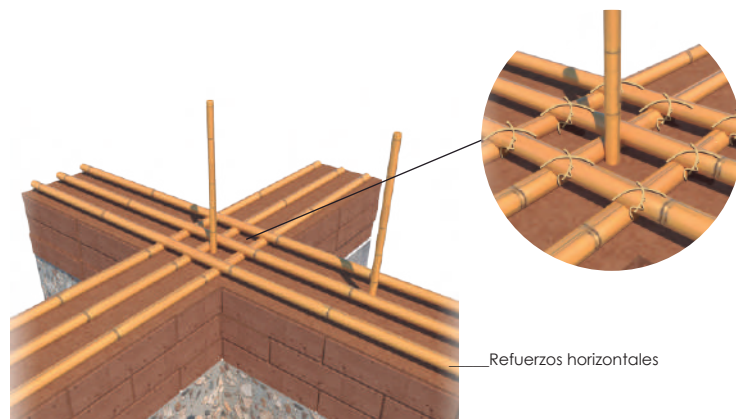
■ Procedimiento

PASO 1. Antes de la construcción del sobrecimiento, se coloca una caña de 1 pulgada de diámetro, centrada de forma horizontal sobre el cimiento.

En estas cañas, se amarran con alambre, cañas verticales de 1 pulgada de diámetro, cada 62 cm. Una vez realizado el proceso a lo largo de toda la cimentación, se procede a la fundición del sobrecimiento.

PASO 2. Se coloca la primera hilada de adobes, las cañas deben quedar en las juntas, que serán de máximo 2 cm de ancho, aquí se puede usar adobes enteros o medios adobes. Se recomienda realizar hendiduras en los adobes con el fin de que las cañas verticales calcen a la perfección.

3



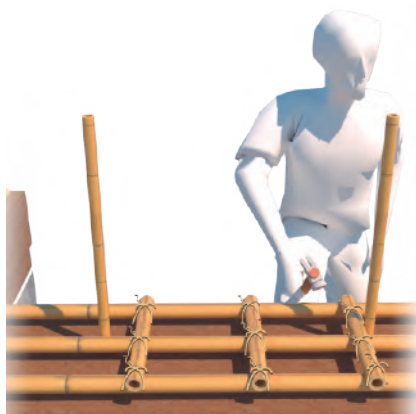
Refuerzos horizontales

4

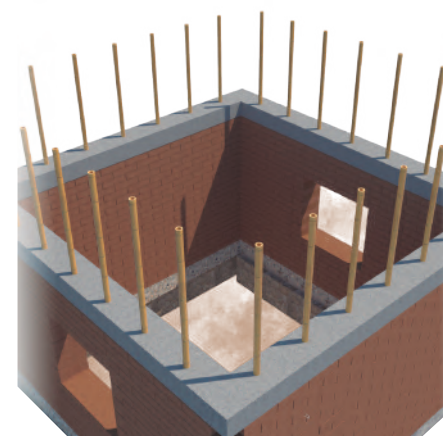


Refuerzos perpendiculares

5



6



■ Procedimiento

PASO 3. Cada 3 hiladas se debe colocar refuerzos de cañas horizontales. Se colocan 3 cañas enteras (2 a los extremos y 1 en el centro) a lo largo del muro y se amarra cada intersección con alambre.

PASO 4. Se colocan cañas del tamaño del ancho del muro de manera perpendicular a los refuerzos horizontales, con el fin de arriostrarlas (formando un entramado), y se amarra con alambre en las intersecciones.

PASO 5. Se machaca todo el entramado con un martillo o una piedra y se cubren con barro, con un máximo de 2 cm de junta. Luego, se coloca la siguiente hilada de adobes.

PASO 6. Una vez finalizadas todas las hiladas, se construye la viga collar y se corta el sobrante de las cañas verticales.



S.05

Mallas metálicas

S.05 MALLAS METÁLICAS

En este sistema se utilizan mallas metálicas para envolver los muros de adobe que permite aumentar la estabilidad y la rigidez de la estructura, para retrasar el tiempo de colapso o se evite el mismo frente a una eventualidad.

■ Tipo de vivienda

- Nueva
- Existente
- Patrimonial

■ Mano de obra



Tres personas

■ Costo por m²

•\$6 aprox.

■ Materiales y herramientas



Taladro



Malla



Varillas



Amoladora



Clavos



Martillo

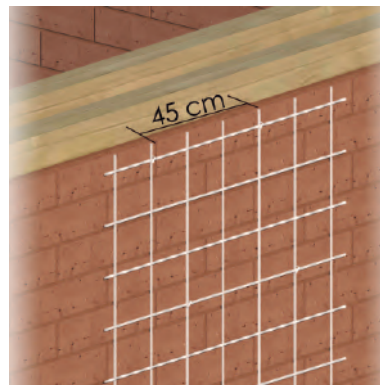


Alambre

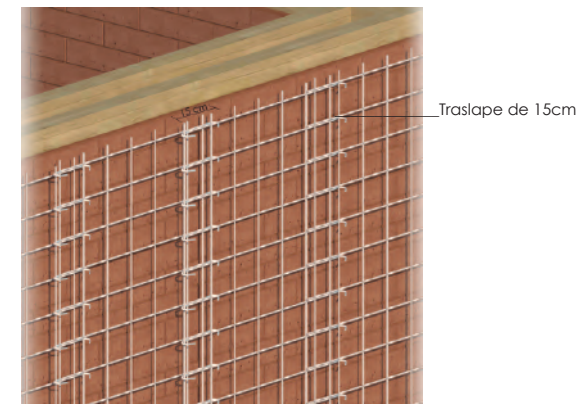
Especificaciones

- Malla electrosoldada: 3.5mm @15 cm
- Clavos 3 pulgadas
- Grapas ¾ de pulgada
- Varillas de acero 6-8 mm de diámetro
- Alambre de amarre N°8

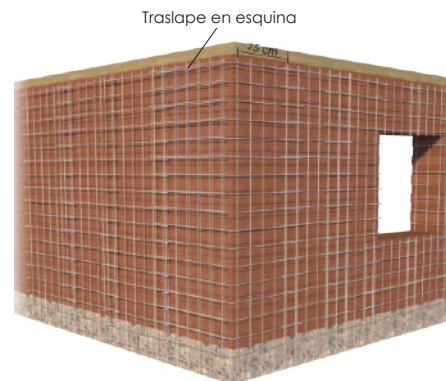
1



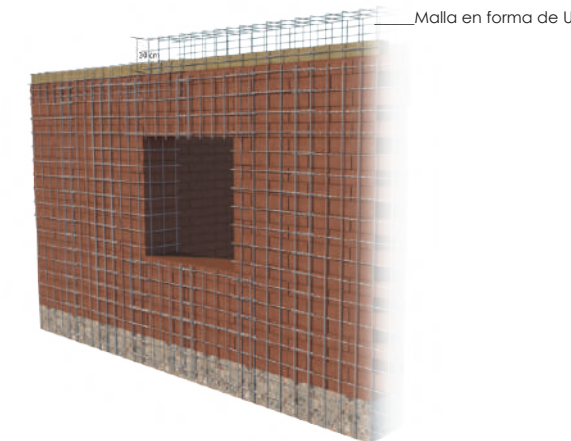
2



3



4



■ Procedimiento

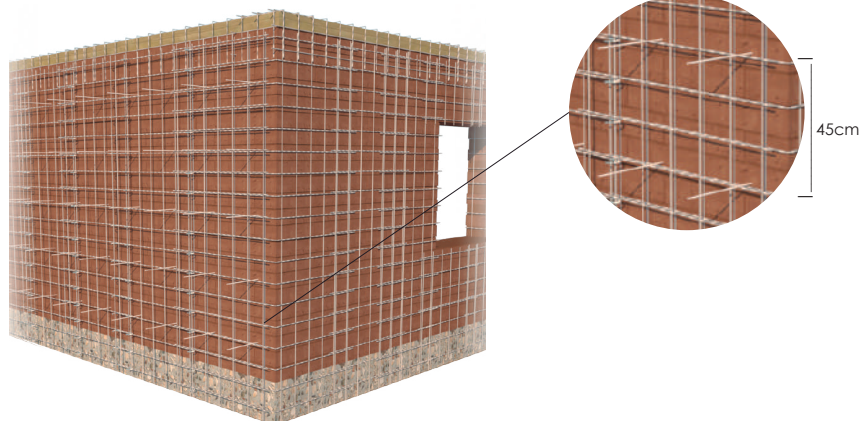
PASO 1. Para colocar la malla se limpia el muro de adobe. Luego, se coloca la malla sobre el muro, cubriendo desde la base (incluyendo el sobrecimiento) hasta la parte superior (hasta antes de la viga collar). La malla se fija con clavos doblados o grapas de acero, espaciadas cada 45 cm a lo largo y a lo alto.

PASO 2. Se coloca la siguiente malla sobre la anterior, estas se deben traslapar 15 cm o 1 cuadro. Luego, se doblan los extremos de la malla con un martillo, para anclarlas entre sí.

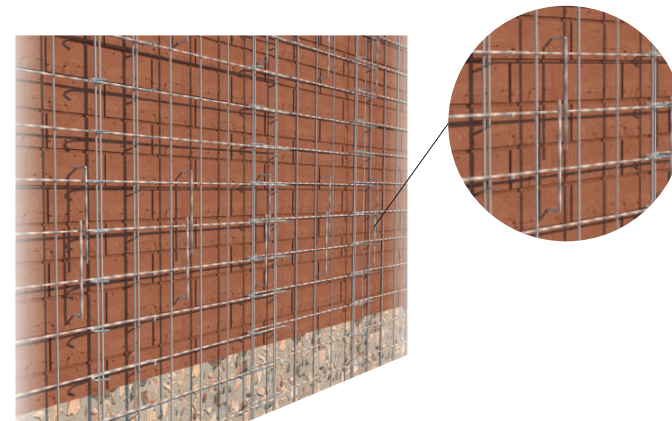
PASO 3. Para vanos y esquinas, se dobla la malla a 90 grados y debe traslaparse 75 cm con la siguiente, e igual se anclan entre sí y se fija la malla al muro con clavos o grapas.

PASO 4. Para la parte superior del muro se debe doblar la malla en forma de U, debe sobresalir como mínimo 30 cm a sus dos extremos, estas mallas superiores deben traslaparse y fijarse con alambre de amarre. Además, se fijan con grapas a las mallas de los muros.

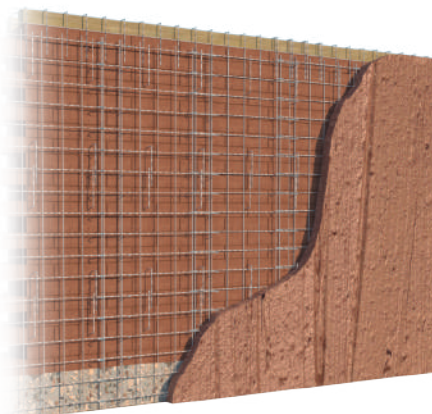
5



6



7



■ Procedimiento

PASO 5. Una vez que todos los muros estén envueltos con la malla, se debe colocar varillas de acero, atravesadas a lo ancho del muro, por lo que se debe perforar previamente con el taladro. Estas varillas deben sobresalir 30 cm a cada extremo, y se colocan cada 45 cm, a lo largo y alto del muro.

PASO 6. Se doblan las varillas con un martillo, dejándolas dobladas hacia arriba y hacia abajo, intercalando esta posición en cada fila. Estas varillas se deben fijar a la malla con alambre de amarre.

PASO 7. Finalmente, se aplica el revestimiento de barro y paja en todos los muros.



S.06

Tensores de acero

S.06 TENSORES DE ACERO

En este sistema se utilizan varillas de acero que están ancladas a unos perfiles de acero con tuercas para envolver los muros de adobe de manera horizontal y vertical, con el fin de confinar el muro y trabajar como una unidad de este modo obteniendo mayor estabilidad de la estructura, para retrasar el tiempo de colapso o se evite el mismo frente a una eventualidad.

■ Tipo de vivienda

- Nueva
- Existente
- Patrimonial

■ Mano de obra



Dos personas

■ Costo por m²

- \$6 aprox.

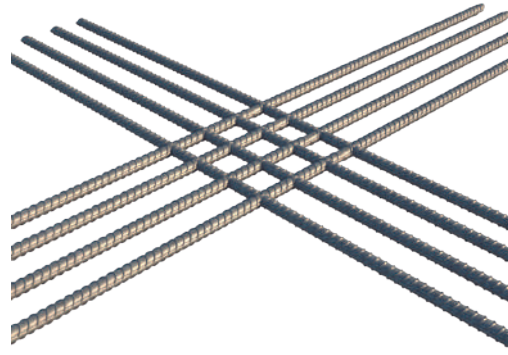
■ Materiales y herramientas



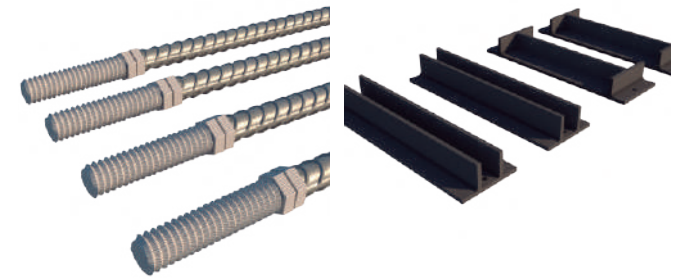
Especificaciones

- Varillas de acero: 12 mm de diámetro
- Tornillos de acero: 12 mm de diámetro
- Platinas de acero: A36, 3 mm de espesor

1



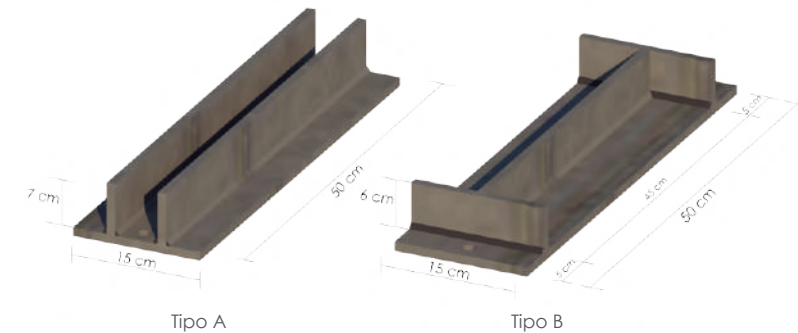
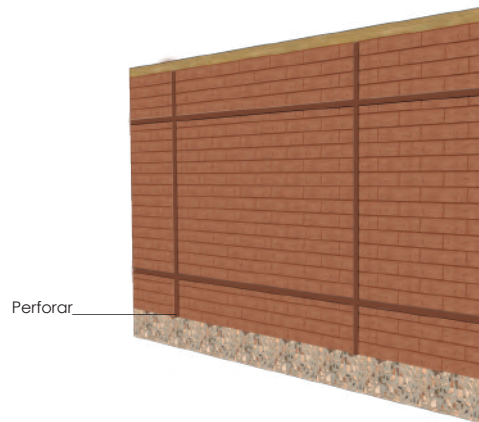
2



Varillas con tornillo

Perfiles soldados

3



Tipo A

Tipo B

■ Procedimiento

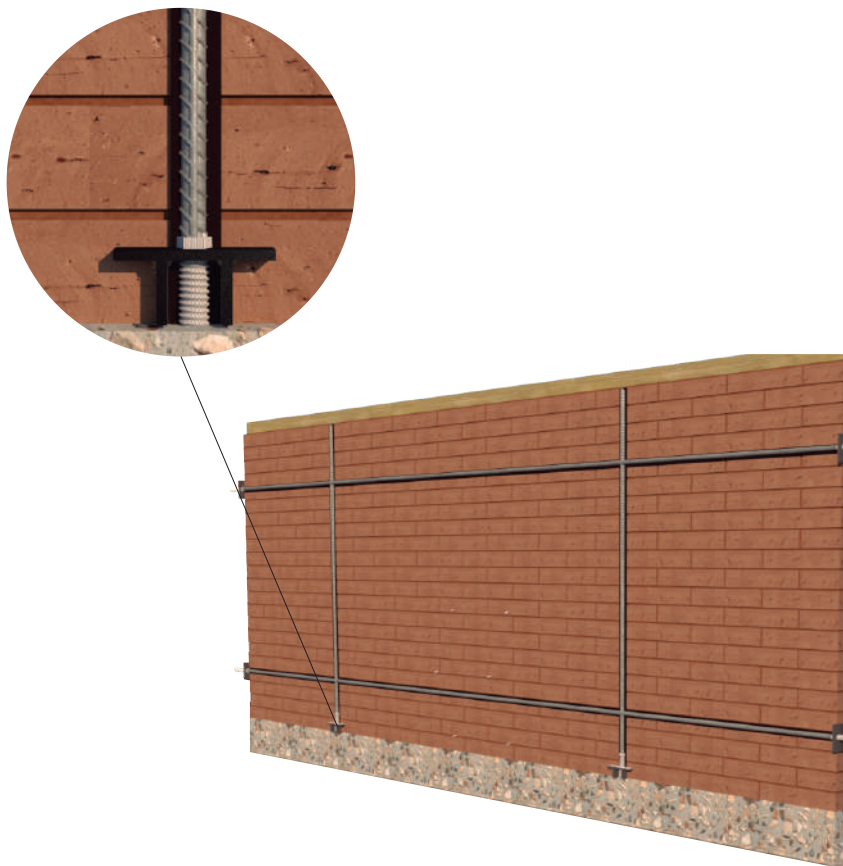
PASO 1. Para iniciar, se debe medir el largo y alto del muro, luego se corta 4 varillas de acero para cada medida (2 para la cara interior y 2 para la exterior).

PASO 2. Se sueldan las varillas en sus dos extremos a tornillos de acero de 15 cm aproximadamente. Además, se sueldan platinas para obtener 4 perfiles del tipo A y 4 del tipo B, estas servirán para sujetar y tensar las varillas.

PASO 3. Se realizan 2 hendiduras verticales y 2 horizontales a $\frac{1}{4}$ del largo y alto del muro, en donde se ubicarán las varillas.

En la base del muro se perforan dos agujeros igualmente a $\frac{1}{4}$ del largo del muro, en donde se ubicarán los perfiles tipo B que atravesarán todo el muro.

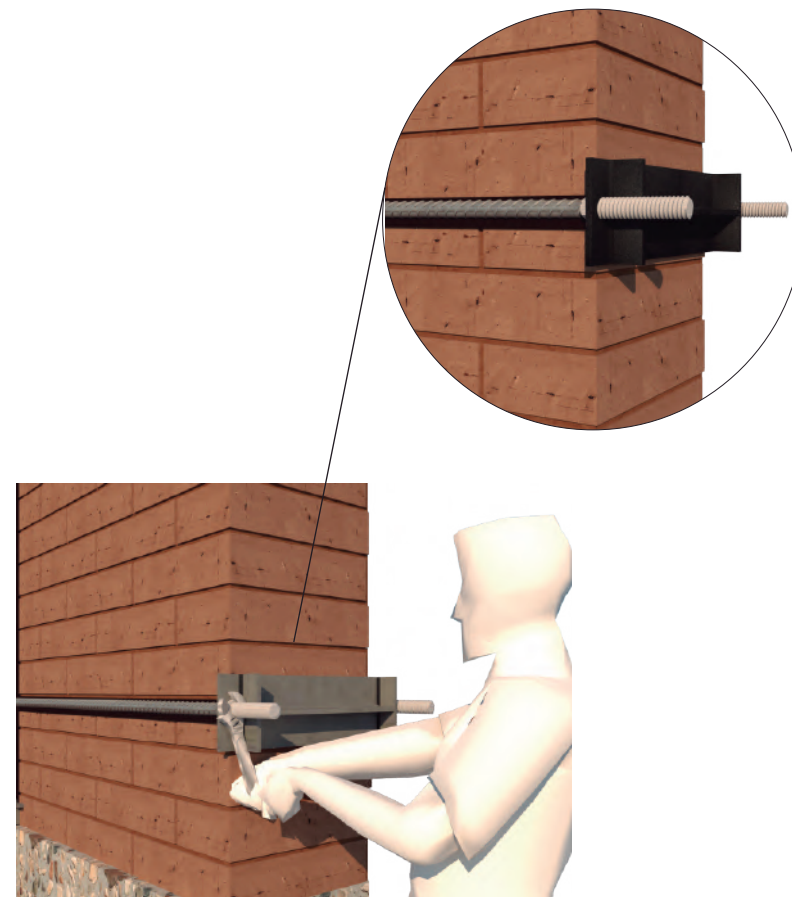
4



■ Procedimiento

PASO 4. Se colocan los perfiles laterales, superiores e inferiores, así como las varillas. Los agujeros de la base se rellenan con barro.

5



PASO 5. Finalmente, se colocan tuercas a los extremos de las varillas y se aprietan con una llave hasta obtener una tensión considerable de las varillas.



S.07

**Maderas de
confinamiento**

S.07 MADERAS DE CONFINAMIENTO

En este sistema se utilizan tablonces de madera para envolver los muros de adobe de manera horizontal y vertical, de este modo confinando los muros para que trabajen como unidad y de este modo aumentar la estabilidad de la estructura, para retrasar el tiempo de colapso o se evite el mismo frente a una eventualidad.

■ Tipo de vivienda

- Nueva
- Existente
- Patrimonial

■ Mano de obra



Tres personas

■ Costo por m²

- \$8 aprox.

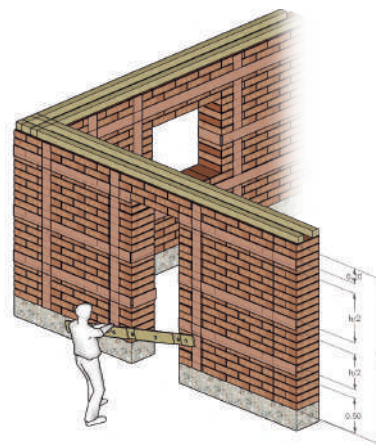
■ Materiales y herramientas



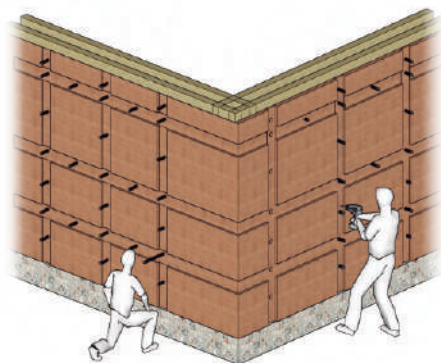
Especificaciones

- Tablas de madera: 15 cm de ancho y mínimo 2 cm de espesor
- Varilla de acero roscada: longitud igual al ancho del muro más 5 cm
- Platinas de acero L: 1/8 pulgada
- Malla angeo galvanizada

1



3

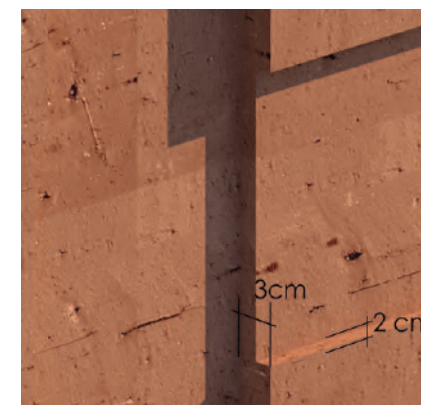


■ Procedimiento

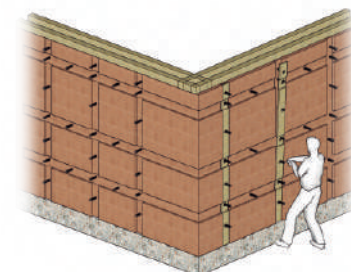
PASO 1. Trazar sobre los muros la ubicación de las maderas, tomando en cuenta que: - Las tablas horizontales se instalarán a 50 cm desde el sobrecimiento y a 20 cm desde la viga collar. - Las siguientes tablas horizontales se colocan entre las que ya están dispuestas, con una separación vertical que no exceda 1.50 m. - Las tablas verticales se instalarán a 10 cm de las esquinas y se colocarán tablas verticales adicionales con separación de máximo 1.50 m.

PASO 2. Se realizan hendiduras en el muro de manera vertical y horizontal, las verticales se colocan primero y, por tanto, tienen más profundidad (1.5 veces el ancho de la madera).

2



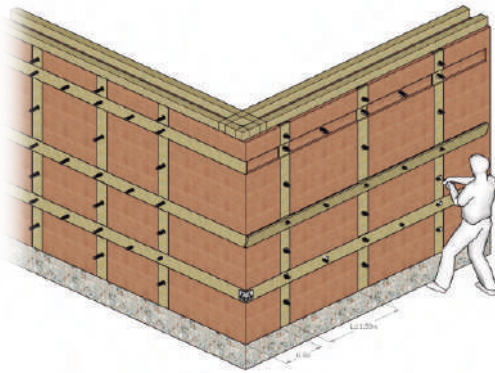
4



PASO 3. Perforar los orificios para los pernos, los cuales deben quedar ubicados en los cruces de las maderas y cada 50 cm en el sentido longitudinal de las tablas de refuerzo.

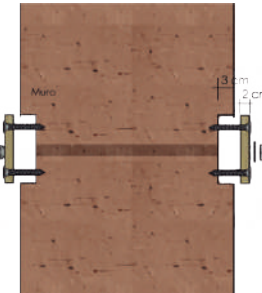
PASO 4. Se coloca las tablas de madera de refuerzo. Primero se instalan las tablas verticales que estarán previamente destajadas (de modo que las maderas horizontales se puedan ensamblar a media madera), y se ajustan los pernos que no coinciden en las intersecciones con las horizontales. Además, se colocan clavos de acero, colocados como se observa en la imagen.

5

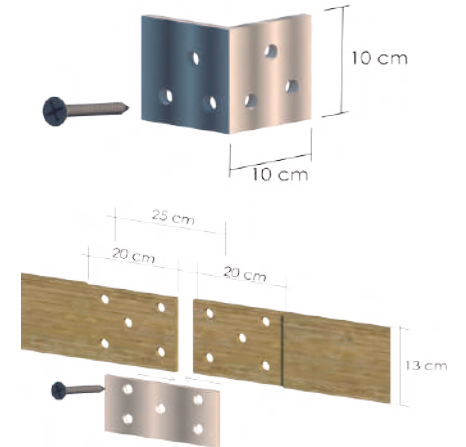
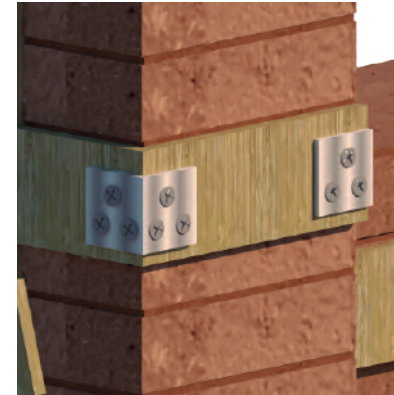


Tuerca y arandela
de 1/4"

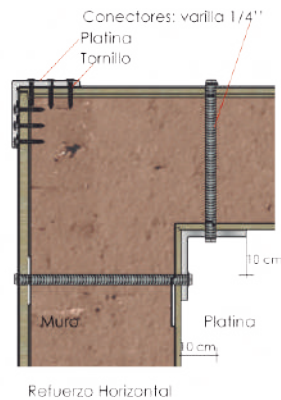
Varilla de acero
roscada de 1/4"



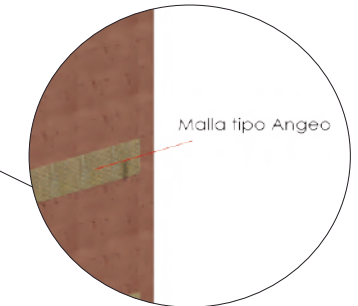
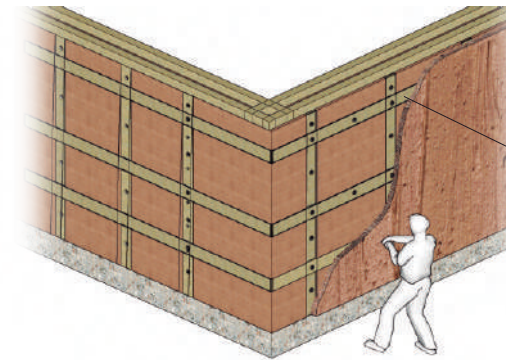
6



6



7



Procedimiento

PASO 5. Se colocan las tablas de madera de refuerzo horizontales y se ajustan los pernos de las intersecciones y los pernos intermedios de los elementos horizontales.

PASO 6. En las esquinas internas y externas se instalan platinas de conexión entre las tablas de madera.

Las platinas externas de 1/8 de pulgada se instalan con tornillos y las platinas internas se instalan con los pernos de conexión. En caso de requerirse traslapes entre elementos de madera, se utiliza una platina adicional para conexión que se sujeta con tornillos.

PASO 7. Finalmente, se coloca segmentos de malla sobre las tablas de madera para mejorar la adherencia del revestimiento. Luego se aplica el empañete de barro y paja en todos los muros.



S.08

Esterilla de guadua

S.08 ESTERILLA DE GUADUA

En este sistema se utilizan esterillas de caña guadua para envolver los muros de adobe en ambas caras, de este modo confinando los muros para que trabajen como unidad y de este modo aumentar la estabilidad de la estructura, para retrasar el tiempo de colapso o se evite el mismo frente a una eventualidad.

■ Tipo de vivienda

- Nueva
- Existente
- Patrimonial

■ Mano de obra



■ Costo por m²

•\$2 aprox.

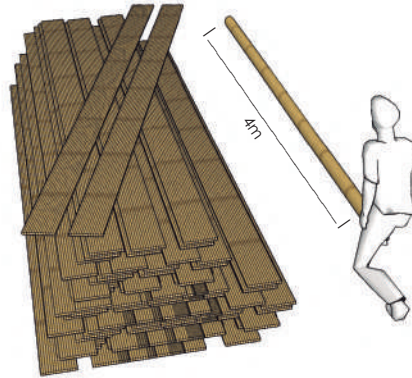
■ Materiales y herramientas



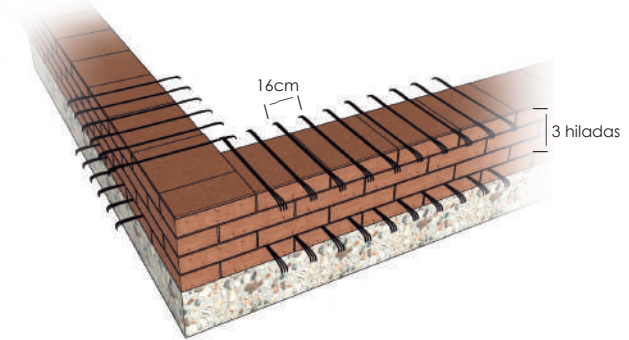
Especificaciones

- Caña de guadua de 2 pulgadas de diametro.
- Soguillas o cintas: Propileno

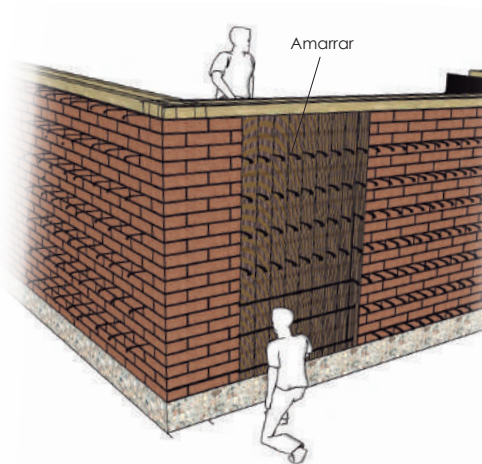
1



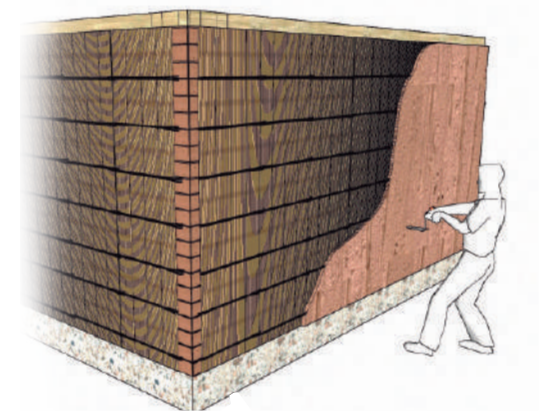
2



3



4



■ Procedimiento

PASO 1. Se realizan esterillas con guadua de 2 pulgadas de diámetro y 4 metros de longitud. Estas deben quedar lo más planas posibles. .

PASO 2. Se construye el muro y se colocan soguillas cada 3 hiladas y con un espaciado de 16 cm a lo largo del muro.

PASO 3. Una vez concluido el muro se colocan las esterillas una a lado de la otra y se amarran fuertemente con las soguillas.

PASO 4. Se realiza el procedimiento en todo el muro y a los dos lados, y se recubre con mortero.

Conclusiones y recomendaciones:

Este manual para reforzamiento de edificaciones de tierra cruda-adobe surge de la necesidad de compilar en un documento los sistemas de reforzamiento más estudiados, para de esta forma incentivar a la población que posee este tipo de viviendas a reforzarlas y así evitar catástrofes ocasionadas por eventos naturales o el paso del tiempo. Además sirve como una guía práctica en la autoconstrucción o para los profesionales de la construcción que buscan utilizar esta técnica vernácula en sus obras.

El manual es el resultado de la investigación para el trabajo de titulación denominado: **Manual para la aplicación de sistemas de reforzamiento en construcciones de tierra cruda - adobe.** Este se encuentra en los anexos del documento elaborado como trabajo de titulación previo a la obtención de título de arquitecto; elaborado para la Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, por parte de: Paúl Esteban Valdéz Durán y David Esteban Vinueza Cordero, con la dirección de tesis por parte del Ing. Xavier Cárdenas Haro.

Este documento puede ser actualizado o complementado con los nuevos estudios e investigaciones que se vayan desarrollando.

Cuenca, junio de 2024.

