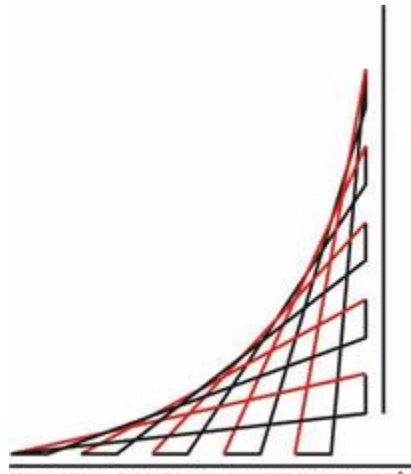


EVALUACIÓN DE NORMAS Y REGLAMENTOS DE CONSTRUCCIONES EN
TIERRA CRUDA, QUE TENGAN EN CUENTA EL COMPORTAMIENTO DE LAS
ESTRUCTURAS ANTE UN EVENTO SÍSMICO Y ESTRATEGIAS PARA REDUCIR
SU VULNERABILIDAD.

ING. KATERÍN RODRÍGUEZ ARANGO



ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN ESTRUCTURAS
BOGOTÁ D.C
2020

EVALUACIÓN DE NORMAS Y REGLAMENTOS DE CONSTRUCCIONES EN
TIERRA CRUDA, QUE TENGAN EN CUENTA EL COMPORTAMIENTO DE LAS
ESTRUCTURAS ANTE UN EVENTO SÍSMICO Y ESTRATEGIAS PARA REDUCIR
SU VULNERABILIDAD.

ING. KATERÍN RODRÍGUEZ ARANGO
Proyecto final para optar al título de
Magíster en estructuras

Directora:
Ing. SANDRA JEREZ

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN ESTRUCTURAS
BOGOTÁ D.C
2020

La tesis de maestría titulada “Evaluación de normas y reglamentos de construcciones en tierra cruda, que tengan en cuenta el comportamiento de las estructuras ante un evento sísmico y estrategias para reducir su vulnerabilidad”, presentada por Katerin V. Rodriguez Arango, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras.

Director de la tesis: Ing. Sandra Jerez

Jurado: Ing. Sandra Aguilar

Jurado: Ing. Jairo Uribe Escamilla

Bogotá, D.C., 10 de septiembre de 2020.

Agradecimientos:

Al Dr. Jairo Uribe por sembrar en mí el gusto por las estructuras en Tierra; a la Dra. Sandra Jerez por ser mi guía en este proceso de aprendizaje y profundización del presente documento, mil gracias.

Contenido

LISTA DE TABLAS	10
INTRODUCCIÓN.....	11
Capítulo 1: Estudio crítico del estado del arte de construcciones en tierra: adobe, tapia pisada y bahareque.....	12
1.1. Generalidades.....	12
1.2. Características	12
1.3. Adobe.....	13
1.4. Tapia Pisada.....	14
Características.....	15
1.5. Bahareque	17
Capítulo 2: Comparación de reglamentos y normas para construcciones en tierra.....	19
2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	20
Pruebas cualitativas	20
Pruebas cuantitativas	22
Pruebas a los materiales.....	24
Dosificación de materiales y características.....	26
Granulometría.....	29
Contenido de materia orgánica	29
Materiales estabilizantes.....	30
Dimensiones de adobes	30
Plasticidad.....	30
Contenido de humedad	31
Actividad de arcilla.....	31
Ensayos de laboratorio.....	31
Ensayos de laboratorio.....	32
Resistencia a compresión.....	34
Resistencia a compresión de muretes	34
Resistencia a compresión en muros.....	35
Resistencia a la tracción por flexión.....	35

Resistencia al corte	35
Módulo de elasticidad.....	37
2.2. SISTEMAS ESTRUCTURALES	38
2.2.1. Resumen y comparación de sistemas estructurales y aspectos constructivos en las normas y reglamentos estudiados	38
Criterios y límites geométricos.....	38
Esbeltez de muro	40
Cimientos.....	40
Sobrecimiento.....	44
Muros.....	45
Juntas y morteros	49
Arriostres	49
Entrepiso y techos.....	50
Aleros	54
Drenaje.....	54
Refuerzos	54
Conexiones	55
Puertas y ventanas	56
Yesos	57
Pañete y pintura	58
2.3. FILOSOFÍAS DE DISEÑO Y MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	61
2.3.1. Comparación de métodos de análisis de las normas y reglamentos	61
Análisis	61
Fuerza Sísmica.....	61
Diseño de muros	63
2.4. RECOMENDACIONES DE REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD	67
2.4.1. Marruecos	67
2.4.2. Alemania.....	67
Ubicación de una vivienda en pendiente	67
Forma de la planta	69
Errores de construcción	69
2.5. TECNICAS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL.....	70
2.6. OBRAS PATRIMONIALES DE CONSTRUCCIONES EN TIERRA	72

2.6.1. Perú.....	72
2.6.2. Chile	72
Criterio estructural.....	72
Levantamiento estructural	72
Diagnóstico del estado de la conservación de la construcción patrimonial.	73
Mantenimiento.....	73
Capítulo 3: Aspectos identificados como aporte a la actualización o generación de documentos normativos en Colombia	74
3.1. Características de los materiales.....	74
3.2. Sistemas estructurales.....	76
3.3. Filosofías de diseño y métodos de análisis.....	77
3.4. Recomendaciones de reducción de vulnerabilidad.....	77
3.5. Técnicas de reforzamiento estructural.....	78
3.6. Obras patrimoniales de construcciones en tierra.	84
Conclusiones y recomendaciones.....	85
APÉNDICE 1	88
Traducción libre de la norma de Marruecos sobre los parámetros para reducir la vulnerabilidad de las estructuras en tierra	88
Daño sísmico	88
Principales tipos de daños sísmicos.....	88
Comportamiento sobre plano de muros.....	88
Grietas y derrumbes de un muro.....	89
Grieta horizontal a media altura del muro	90
Comportamiento de daño en el plano del muro.....	90
Daños en la esquina	90
Daños a las aberturas del muro (ventanas y puertas).....	91
Pérdida de contacto entre un muro y el piso o techo	92
Daños a nivel de conexión.....	92
Daño a los enlaces de unión entre el muro y el techo.....	92
Daño por humedad	92
Otros factores.....	93
Bibliografía.....	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Prueba de cinta de barro Fuente: (ASTM International, 2010).....	20
Figura 2 Prueba de la pastilla. Fuente: (Carazas, 2002)	21
Figura 3 Prueba con los sentidos. Fuente: (Equipo Maiz y UNES, 2000)	22
Figura 4 Prueba Resistencia al corte. Fuente: (Comité national des constructions en terre, 2013).....	37
Figura 5 Límites geométricos de muros y vanos. Fuente: (Equipo de Perú, 2017).....	38
Figura 6 Geometría en forma de cubo. Fuente: (Carazas, 2002).....	39
Figura 7 Cimiento y sobrecimiento, Fuente: (Equipo Maiz y UNES, 2000)	41
Figura 8 Instalación de refuerzos en muros de abobe, Fuente: (Carazas, 2002)	49
Figura 9 Refuerzo vertical para control de grietas. Fuente: (ASTM International, 2010) ...	55
Figura 10 Ubicación correcta de vivienda (Minke, Manual de Construcción en Tierra, 2005)	67
Figura 11 Ubicación peligrosa en pendiente de vivienda. (Minke, Manual de Construcción en Tierra, 2005)	68
Figura 12 Ubicación de vivienda para evitar deslizamientos (Minke, Lehmbau-Handbuch Manual de Construcción en Tierra, 2005)	68
Figura 13 Ubicación de vivienda con corte en terreno (Minke, Manual de Construcción en Tierra, 2005)	68
Figura 14 Errores de construcción en las viviendas (Minke, Manual de Construcción en Tierra, 2005)	69
Figura 15 Refuerzo horizontal en madera, figura 34 de (Comité national des constructions en terre, 2013).....	79
Figura 16 Tipo de anclaje para elementos horizontales al muro, figura 41 de (Comité national des constructions en terre, 2013)	79
Figura 17 Refuerzo horizontal en malla de alambre galvanizado, figura 43 de (Comité national des constructions en terre, 2013)	80
Figura 18 Refuerzo horizontal en concreto reforzado, figura 37 de (Comité national des constructions en terre, 2013)	80
Figura 19 Reforzamiento en aberturas horizontal y vertical, figura 46 de (Comité national des constructions en terre, 2013)	81
Figura 20 Nudos para refuerzos de sogas sintéticas (Equipo de Perú, 2017).....	82
Figura 21 Refuerzos con mallas o sogas sintéticas desde cimentación, (Equipo de Perú, 2017)	83
Figura 22 Drizas conectoras de mallas sintéticas Fuente: (Equipo de Perú, 2017).....	83
Figura 23 Colapso de muros vulnerables, figuras 5.4 y 5.1 de (The Getty Conservation Institute, 2002).....	89
Figura 24 Falla a media altura, fuera del plano por flexión (The Getty Conservation Institute, 2002).....	90
Figura 25 Inestabilidad en esquina de muro, figura 5.10 (The Getty Conservation Institute, 2002).....	91

Figura 26 Grietas verticales en unión entre muros, separación entre muros (The Getty Conservation Institute, 2002)	91
Figura 27 Falla local en unión de muros, figura 5.16 de (The Getty Conservation Institute, 2002).....	91
Figura 28 Grietas en las aberturas (Comité national des constructions en terre, 2013)	92
Figura 29 Deslizamiento de un muro por debilitación en base húmeda (Comité national des constructions en terre, 2013)	93

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Bibliografía estudiada de Estructuras en Tierra	19
Tabla 2 Pruebas que se realizan a los materiales	24
Tabla 3 -1 Porcentaje de cantidades de materiales y características para el adobe	27
Tabla 4 Granulometría Tapia Pisada	29
Tabla 5 Granulometría Adobe	29
Tabla 6 Materiales estabilizantes de la tierra.....	30
Tabla 7 Dimensiones de los Adobes.....	30
Tabla 8 Plasticidad según norma de Marruecos	31
Tabla 9 Contenido de humedad y compacidad del material tierra	31
Tabla 10 Actividad de arcilla con prueba de azul de metileno.....	31
Tabla 11 Ensayos para construcciones en tierra.....	32
Tabla 12 Resistencia a compresión	34
Tabla 13 Resistencia a compresión de muretes	34
Tabla 14 Resistencia a la tracción por flexión.....	35
Tabla 15 Resistencia al corte	35
Tabla 16 Módulo de elasticidad.....	37
Tabla 17 Esbeltez de muros l/e.....	40
Tabla 18 Características de cimientos	42
Tabla 19 Características de los muros	46
Tabla 20 Características de los techos.....	51
Tabla 21 Longitud de aleros	54
Tabla 22 Abertura de puertas y ventanas.....	57
Tabla 23 Factores de reducción de capacidad o de seguridad	63
Tabla 24 Materiales empleados en el reforzamiento según las normas	70
Tabla 25 Rangos de propiedades mecánicas, tomada de tabla 4.3.4-1 (AIS600, 2017).....	75
Tabla 26 Resistencia de muros en tierra sin reforzamiento, tomada de tabla 6.3.1-1 (AIS600, 2017).....	75

INTRODUCCIÓN

Una de las técnicas constructivas más antiguas es la construcción en tierra, que se ha utilizado durante miles de años, y ha evolucionado con el objetivo de mejorar las propiedades estructurales para su estabilización frente a eventos sísmicos. Estas construcciones son una solución económica y ecológica para viviendas, además de representar un patrimonio sociocultural y testimonial en cuanto a tradiciones arquitectónicas y culturales se refiere.

Debido a que Colombia es un país en el que el 87% de la población está localizada en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia, circunstancia que no se puede cambiar, es perentorio reducir el riesgo, y una alternativa puede ser haciendo menos vulnerables las estructuras en tierra con estrategias de reforzamiento adaptadas a sus características o con el desarrollo de recomendaciones para construcciones nuevas, además se hace necesario limitar su uso.

Es este el motivo por el que se propone realizar la evaluación y comparación de normas y reglamentos de construcciones en tierra cruda, que tengan en cuenta el comportamiento de estructuras ante un evento sísmico, y que a su vez reduzcan su vulnerabilidad.

Para lo anteriormente descrito, se realizó el estudio de las normas de Perú, Chile, Marruecos, Estados Unidos, Turquía y Nueva Zelanda; también se estudiaron los manuales de construcción de Alemania, Francia y San Salvador, ya que algunos de estos países tienen una amenaza sísmica similar a la de Colombia y tienen técnicas de construcción similares.

Por otra parte, se compararon la caracterización de materiales, sistemas estructurales, métodos de análisis, filosofías de diseño y técnicas de reforzamiento.

Este trabajo se presenta en tres capítulos. El primero se ocupa de mostrar las generalidades de las construcciones en tierra, haciendo énfasis en los aspectos objeto de este estudio. En el segundo capítulo se muestra la comparación de los documentos estudiados a la luz de los aspectos mencionados anteriormente; la selección de estos aspectos respondió a que son aquellos que se relacionan con el comportamiento estructural, interés principal en este documento. El tercer capítulo, muestra algunos aspectos que podrían considerarse para una revisión del actual documento AIS 610 –EP-17, documento que, desde el 25 de noviembre de 2019, forma parte del Reglamento NSR-10 y da los lineamientos para el reforzamiento de edificaciones patrimoniales de uno y dos pisos en Adobe y Tapia Pisada. Finalmente, se presentan las conclusiones de este estudio y comparación crítica de documentos normativos.

Capítulo 1: Estudio crítico del estado del arte de construcciones en tierra: adobe, tapia pisada y bahareque.

Este capítulo presenta una revisión bibliográfica sobre construcciones en tierra haciendo énfasis en sus técnicas, características, ventajas y desventajas.

1.1. Generalidades

Para comenzar, de acuerdo con la cantidad, edad y localización de las estructuras en tierra puede afirmarse que este tipo de construcción se encuentra prácticamente en todos los continentes y que bajo ciertas condiciones se caracterizan por su longevidad y durabilidad; incluso, al día de hoy se encuentran estructuras en tierra de hace más de 9.000 años. Algunos muestras de construcción en tierra, con sus diversas técnicas, se encuentran en: en Asia Central, en el Turquestán, existen viviendas en tierra que datan entre el 8000 y el 6000 a. de C; en el norte de Mesopotamia, en Asiria, se encontraron cimientos de tierra apisonada que datan del 5000 a. de C; en Egipto, en Gourná, están las bóvedas del Templo de Ramsés II construido con adobes hace más de 3000 años, cuyos depósitos construidos en Luxor aún se conservan; en Irán se encuentra la ciudadela Arg-é Bam, que cuenta con construcciones de más de 2500 años, cerca del 70% de ellas destruidas en el sismo de Bam en 2003; y, en Marruecos, en el valle de Draa, hay ciudades construidas en tierra desde el siglo XVIII (Viñuales, 2007).

La Gran Muralla China se construyó hace 4000 años, inicialmente con tapia pisada y posteriormente enchapada con piedras y ladrillos, dándole la apariencia de una muralla de piedra; en México en Teotihuacán, el centro de la pirámide del Sol está construido con 2 millones de toneladas de tierra apisonada, construida entre los años 300 – 900 d. de C. (Minke, Manual de Construcción en Tierra, 2005)

En Alemania está la fortaleza de Heuneburg en donde utilizaron tierra en los muros como material de relleno en los entramados, como sistema de bahareque en el siglo VI a. de C; en África la mayoría de las mezquitas fueron construidas en tierra, como: Nando del siglo XII.

En Francia la tapia pisada (*terre pisé*) se empleó desde el siglo XV al XIX, por esto existen edificaciones con más de 300 años aun habitadas en la ciudad de Lyon (Minke, Manual de Construcción en Tierra, 2005)

En El Salvador existe un sitio histórico, la Joya de Cerén, con construcciones que datan de los años 600 d. de C construidas con técnicas del bahareque (Flores, 2003).

1.2. Características

Las características de la tierra empleada para la construcción dependen del sitio de donde se extrae, lo que hace que su composición sea diferente por las cantidades de arcilla,

limo, arena y agregados que contiene. Desde el punto de vista estructural es trascendente caracterizar sus propiedades mecánicas, dependiendo de esta composición se hace importante determinar si es apta o si es necesario modificarla. La tierra no es impermeable, así que al ser materia prima de los sistemas estructurales en adobe, tapia pisada y bahareque necesita ser protegida de la lluvia; muchas veces se soluciona esto arquitectónicamente con aleros, barreras impermeabilizantes o tratando las superficies.

Una ventaja de las construcciones en tierra es que tienen la capacidad de absorber humedad de manera más eficiente que los materiales convencionales de construcción, por este efecto es que se regula el clima interior en las estructuras. (Minke, *Lehmbau-Handbuch Manual de Construcción en Tierra*, 2005)

Asimismo, es un material que contribuye al medio ambiente convirtiéndolo en sostenible, gracias a que no produce contaminación ambiental porque al preparar este material *in situ* no requiere transporte; de igual modo, no produce contaminación ambiental y se puede volver a utilizar, solo requeriría para este proceso un triturado y humedecido. Además, las técnicas de construcción en tierra pueden ser ejecutadas con obra de mano no calificada con herramientas sencillas y económicas, pero con guías de construcción.

En cuanto a compatibilidad con otros materiales, la tierra mantiene secos los elementos de madera y los preserva cuando están en contacto directo, por su equilibrio de humedad de 0.4 a 6% en peso (Minke, *Lehmbau-Handbuch Manual de Construcción en Tierra*, 2005). Incluso puede preservar pequeñas cantidades de paja dentro de su masa. Además, investigaciones han comprobado que es compatible con materiales plásticos.

1.3. Adobe

El adobe es esencialmente una técnica de mampostería en la que los muros se construyen utilizando bloques de tierra no cocida, llamados también adobes, aparejados de diferentes formas y pegados con una mezcla llamada mortero de pega, que es lo más parecida a la de los adobes.

Proceso constructivo:

Los bloques de tierra no cocidos o adobes pueden tener tamaños de 10x20x40cm con un peso aproximado de 1,7kg. En Colombia en 1952, se inventó la máquina Cimva-Ram que procesa adobes de 8.5x14x29.5cm con un peso aproximado de 700gr, por lo general estas piezas no contienen fibras. En general, se mantiene una proporción de 1:2 y 1:1.15, comparando el largo y el ancho, lo que permite aparejarlos, el espesor no debe ser menor de 6cm Es importante que el peso y el volumen permitan la fácil manipulación por una sola persona.

La tierra seleccionada para estos adobes en muchas ocasiones es mezclada con pajas naturales para disminuir la retracción al secarse, luego del amasado pueden hacerse diferentes pruebas para determinar si la humedad es la correcta, como, por ejemplo:

- Hacer en la superficie de la mezcla un surco de 8cm de profundidad, si las paredes se hinchan y tienden a deslizarse una hacia la otra, se considera que la mezcla tiene la cantidad correcta de agua.
- Si las paredes se quedan firmes es porque la mezcla está muy seca.
- Si se juntan las paredes es porque tiene demasiada agua. (Viñuales, 2007)

Cuando se obtiene la mezcla adecuada, se elaboran los adobes manualmente o en máquina; los moldes deben aceitarse para permitir el desmolde, en algunos lugares se emplean plásticos para forrar el interior del molde, en otros lugares se mojan y enarenan para facilitar el desmolde. Cuando se llena el molde hay que tener especial cuidado en que no se generen burbujas y que el material esté cubriendo en su totalidad el molde. Antes de desmoldarse pueden hacerse estrías o dibujos que ayuden a la adherencia entre ellos.

Luego se desencofran y se ponen a un lado para que sean secados por el sol, aislados del piso sobre estibas y cubiertos por un plástico, para que no se dañen (Battistelli, 2005). El tiempo de secado depende de la calidad de la mezcla, las condiciones climáticas y la dimensión de la pieza. Generalmente los adobes se dejan quietos por 4 días y luego se les da la vuelta para facilitar la exposición al sol y su consecuente secado.

El adobe es difícil de cortar una vez seco, por tal motivo se elaboran medios bloques, tercios y cuartos para organizar los aparejos; la elaboración de los muros se hace con uniones de barro similar al de las piezas, algunas veces contiene cal o yeso para proporcionar mayor adherencia, se hacen hiladas sin sobrepasar 1m de altura por día, ya que se puede provocar un asentamiento debido al peso propio.

Ventajas:

- Rapidez en la ejecución una vez está disponible el material.
- Es habitable desde el momento en el que se construye.
- Es más fácil realizar trabajos de carpintería y aberturas que en el sistema de tapia.

Desventajas:

Por ser un material poroso permite el ataque de insectos que se incorporan y asientan internamente, humos, grasas, aguas de condensación, si no se protegen siempre hay peligro de crecimiento vegetal. El ataque del viento es menos tolerado cuando no existe pañete.

1.4. Tapia Pisada

La Tapia Pisada es un sistema de construcción de muros que utiliza moldes como técnica constructiva para ser rellenos con capas de tierra de 10 a 15 cm y que son compactadas con un pisón, generando bloques monolíticos.

Características

Fue usada principalmente en regiones de clima semiárido, el espesor de los muros ayuda con una inercia térmica para controlar los picos de máxima y mínima temperatura diarios (Rios, 2003) .

Apisonar tierra es una manera para aumentar la resistencia a compresión del material por la densificación, las arenas cumplen la función de transmisión de carga y las arcillas actúan como elementos cohesionadores; las proporciones son del orden de 60 a 80% de arena y 20 a 30% de arcilla (Rios, 2003). Los agregados que se consideran estabilizadores son el cemento y la cal hidratada los cuales ayudan al muro a tener una mayor resistencia a la intemperie.

Proceso constructivo

La estructuración de una vivienda en este material sigue ciertos pasos; la mayoría de las veces se extrae el material del mismo lugar de construcción; antes de cimentar los muros de carga se construye la cimentación generalmente en piedra pegada, con mortero de cemento, cal y barro, con 40cm mínimo de profundidad y el ancho es del mismo espesor del muro que se apoyará en este.

Además, sobresale del cimiento a una altura mínima de 60cm, este con el fin de impedir el paso de humedad del suelo y también evita la erosión del muro por salpicadura en las capas inferiores.

Se comienza la construcción de los muros perimetrales en tapia, se instalan a cada lado unas formaletas de madera herméticas y deslizantes, aceitadas en su interior -algunos llaman *tapial*- a una altura que permita trabajar dentro de ellos o a un costado dependiendo de cómo se piense ejecutar la elaboración del muro, en cuanto al encofrado o tapial es seleccionado en función del peso y el número de personas que lo arman. Además, se triangulan las esquinas y apuntalan por secciones, es importante que las formaletas sean lo suficientemente resistentes para conservar la verticalidad de los muros debido a las vibraciones a las que se someten en el proceso de apisonamiento, además de la presión lateral que ejerce el material apisonado.

Se adiciona tierra húmeda por dentro sin superar los 7cm de altura por cada capa y se compacta con un instrumento llamado *pisón* que normalmente es de madera a una caída de 45cm, los espesores de los muros generalmente son mayores de 40cm Los puntos críticos son los ángulos de las esquinas del encofrado, en esta zona se emplea un pisón particular. Luego se agrega otra capa de tierra y se continúa apisonando en el mismo sentido a lo largo del encofrado, cuando se está a nivel del borde superior se deslizan las formaletas hacia arriba, limpiándolas y aceitándolas nuevamente, sin perder la rigidez de la misma. (Battistelli, 2005)

Resulta conveniente realizar el deslizamiento vertical y horizontal de las formaletas para no permitir que las uniones de las tablas coincidan, de esta forma se pueden construir grandes bloques monolíticos de tierra. (Viñuales, 2007)

Por las características del material es necesario que todos los muros se construyan de forma simultánea, armando aberturas desde un principio al terminar cada hilada o camada de 10 a 15cm esto ayuda a la unión de la hilada siguiente. Al realizar las juntas se utilizan machimbres agregados a los moldes o dejando una terminación con pendiente que permita hacer un traslape en el muro siguiente a ser apisonado.

A nivel arquitectónico resulta adecuado que la cubierta tenga aleros como solución de evitar el impacto directo de la lluvia, también se conoce de estructuras patrimoniales que se les adiciona a los muros una capa exterior “impermeable”, un pañete que contribuye a la conservación del material.

Identificación en campo

La relación entre peso y volumen dependerá del tipo de tierra empleada y sus características, existe una forma de evaluar el material en campo que es tomando un puñado de la mezcla a emplear se aprieta con la mano y se deja caer a la altura de 1m (Viñuales, 2007), es una prueba cualitativa que se ha usado desde siempre:

- Si, en la mano conserva la forma y no se adhiere, y si al caer en el suelo no se parte en pedazos, la cantidad de agua es la adecuada.
- Si en la mano se adhiere y mancha, y si al caer no se rompe es porque la mezcla está muy mojada.
- Si no mantiene la forma de la mano y al caer se pulveriza es porque está muy seca.

Ventajas

- Presentan buenas características higrotérmicas, dependiendo de la distribución arquitectónica las ventanas simétricas o en un mismo eje permiten la aireación y control de la humedad interior.
- Homogeneidad del muro, realización de un gran espesor en una sola operación.
- No se alojan parásitos en los muros, no se contraen en el secado, no hay pudrimiento interno.
- Buen comportamiento ante los incendios.
- Se requiere mano de obra calificada en la preparación de las formaletas, pero no en el apisonamiento.
- No necesita almacenarse.
- Puede quedar sin pañete.

Desventajas:

- Necesita un secado completo de los muros antes de realizar el entrepiso o la cubierta dependiendo el caso.
- Debe ser protegido de la lluvia durante el periodo de secado.
- Requiere de una excelente hermeticidad de los cimientos para evitar efectos de capilaridad en los muros.
- Se dificulta la restauración.

Recomendaciones de construcción

Las estructuras deben ser compactas en lo posible con la misma cantidad de muros arriostrados en ambas direcciones, simétricos para evitar torsiones en planta originadas por las fuerzas del sismo, con promedio de masa respecto a los vacíos, en proporción del 30% al 70% como máximo.

El peso de la cubierta se sugiere que sea distribuido sobre todos los muros, se recomienda a cuatro aguas y además que sea liviano, para evitar los esfuerzos cortantes en los muros debido al efecto péndulo invertido.

Los vanos deben estar centrados, el borde vertical no arriostrado de puertas y ventanas deberá ser considerado libre. En zonas de alta sismicidad, la distancia entre el borde libre de un muro y el elemento vertical de arriostre más próximo no excederá de cinco veces el espesor del muro; de ser mayor deberá proveerse un arriostre en el borde del vano.

Para construir muros de tapia es necesario utilizar un suelo arcilloso plástico seleccionado, si el suelo tiene un alto contenido de arcilla deberá mezclarse con arena gruesa, para lograr una calidad de material óptima. (DIPAUS, 2000)

1.5. Bahareque

El bahareque es un sistema de construcción en el que se emplea una armadura y es recubierta en tierra.

Proceso constructivo

Se considera un sistema constructivo artesanal con la combinación de maderas (rollizos, tablas, ramas) o caña con tierra y piedra, por lo general son reutilizados, no necesitan un encofrado. Es una estructura flexible y de paredes livianas por esto la cimentación debe garantizar la estabilidad de los muros de carga con bases en piedra altas, que permite aislar los muros de la humedad del terreno.

Los bloques de piedra de la cimentación son conformados por elementos de gran tamaño con formas irregulares, que generalmente sobresale del perfil de la pared. La unión de las cimentaciones antiguas está construida en tierra o en tierra mezclada con cal.

La estructura que constituye la *armadura* se conforma por elementos de madera redonda o caña inmunizada las cuales se hincan de forma vertical al cimiento; los diámetros son variables entre 10 y 15cm, Luego se colocan las maderas horizontales y diagonales en las caras externas del muro, que se unen con puntillas o tientos naturales a las principales, luego se rellenan los vacíos de las estructuras con tierra húmeda y piedras de tamaño y forma irregular, por capas sucesivas a ambos lados comenzando desde abajo y continuando con todo el perímetro.

Cuando se obtiene el muro este debe ser pañetado. El bahareque puede ser simple o en doble estructura. Algunas veces se emplea cal para obtener mayor durabilidad. La estructura en bahareque es flexible y ligera respecto a la tapia pisada. Las paredes no son monolíticas, son livianas y no soportan grandes pesos.

Los puntos críticos de la armadura son las esquinas y en la mitad de la longitud del muro, por esto se aconseja reforzar estos con maderas de espesor y resistencia mayores; las ventanas se posicionan en el extremo superior para evitar debilitar el muro. En cuanto a las cubiertas de las viviendas en bahareque que se conocen, son armaduras de madera con tejas de barro. (Battistelli, 2005) Es importante protegerlas del agua por esto se hacen aleros, estos muros son sensibles a la humedad del ambiente. (Viñuales, 2007)

Ventajas

- Rapidez en la ejecución.
- Independencia estructural que permite cambios arquitectónicos.

Desventajas

- Necesita ser protegida de la lluvia durante el periodo de secado
- Contracción del secado
- Se pueden asentar parásitos dentro del entramado.
- Tiene alto riesgo en caso de incendio
- Se puede pudrir la estructura en caso de humedad excesiva.

Capítulo 2: Comparación de reglamentos y normas para construcciones en tierra

A continuación, se presenta el resultado de la revisión bibliográfica de algunos reglamentos y normas de países con algún nivel de amenaza sísmica similar a la colombiana. Se buscó también que estos documentos se ocuparan de construcciones en adobe y tapia pisada, se compararon y analizaron los siguientes aspectos:

- Caracterización de materiales
- Sistemas estructurales
- Filosofías de diseño y métodos de análisis
- Técnicas de Reforzamiento

La bibliografía analizada es de los siguientes países: Perú, Chile, Marruecos, Estados Unidos, Turquía, Alemania, Francia, San Salvador y Nueva Zelanda; en el proceso de selección de análisis bibliográfico se encontró que existen muchas más en países como Kenia, Nigeria, Túnez, India, España, Italia, Brasil, entre otros, sin embargo, se priorizan las elegidas.

Específicamente los documentos estudiados son:

Tabla 0-1 Bibliografía estudiada de Estructuras en Tierra

PAIS	NORMA, REGLAMENTO O MANUAL
Perú	E. 080 Diseño y construcción con Tierra Reforzada, No. 121-2017 – Vivienda, 2017
Chile	NCh3332 Estructuras, intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda – Requisitos del proyecto estructural, 2013
Marruecos	RPCTerre 2011 – Règlement parasismique pour l’auto construction en terre - No. 6206 – 17 moharrem 1435, 2017.
Estados Unidos	E2392/E2392M-10 Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems, 2010.
Turquía	UDK 691.41TURK STANDARDI TS2514//Şubat1977 UDK 693.2:691.41 TURK STANDARDI TS2515/Nisan 1985
Alemania	Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de Tierra de Gernot Minke, 2001.
Francia	Guía de construcción parasísmica de Wilfredo Carazas Aedo, 2002.
San Salvador	La casa de adobe sismorresistente del Equipo Maiz y UNES, 2001.

Nueva Zelanda NZS 4297 (1998) Engineering design of earth buildings, 1998.

En la comparación se mostrarán las características más relevantes en términos de análisis estructural, evaluando el desempeño de la construcción de tierra.

2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Es indispensable reconocer las características y propiedades de los materiales que se emplean en las técnicas de las construcciones en tierra, además de los ensayos que se realizan, el procedimiento y los detalles requeridos. Asimismo, se encontraron parámetros mínimos de aceptación para cuando no se realizan ensayos.

En la Tablas 2 se recogen los procedimientos de ensayo propuestos en los documentos revisados.

Son muy variadas las pruebas que se realizan a los materiales; se podrían clasificar en cualitativas y cuantitativas, sin embargo, la mayoría de los países tienen en común las cualitativas.

Pruebas cualitativas

1. Prueba de cinta de barro (Perú, Estados Unidos y Turquía), o el cigarro (Francia) o el puro (San Salvador); es la misma prueba con iguales observaciones a tener en cuenta, véase la Figura 1. Esta prueba sirve para determinar si la mezcla (material tierra) es arenosa o arcillosa, moldeándose una cinta o cigarro, con un largo de 20cm y un diámetro 1 a 3 cm, se coloca al vacío y se mide el largo del pedazo que se desprendió.



Figura 1 Prueba de cinta de barro Fuente: (ASTM International, 2010)

- Prueba de resistencia de arcilla o resistencia seca (Perú, Estados Unidos), o la pastilla (Francia), o plasticidad (San Salvador); son de las mismas características. Esta prueba se realiza tomando una muestra y humedeciéndola, luego se moldean dos pastillas de 5 a 10 cm de diámetro, cuando está seca, se intenta romper por la mitad con el dedo pulgar e índice, y dependiendo de cómo fue su ruptura, se presentan las características de la Figura 2.

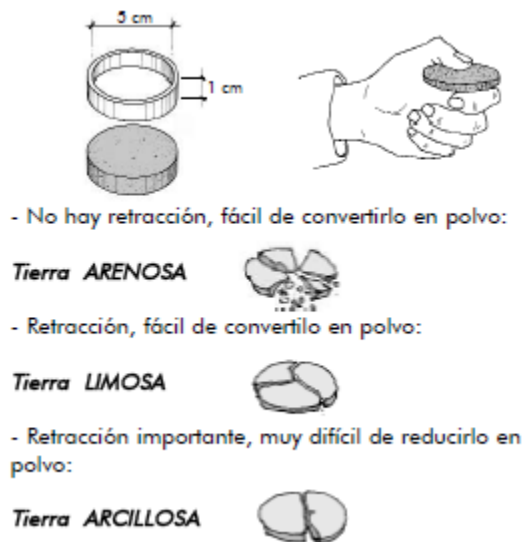


Figura 2 Prueba de la pastilla. Fuente: (Carazas, 2002)

- Prueba de contenido de humedad (Perú) y la prueba de evaluación húmedo / seco (Nueva Zelanda) prueba de caída del contenido de humedad de la mezcla de tapia pisada (Nueva Zelanda); son similares, tienen el mismo objetivo. Para esta prueba se realiza una bola de la mezcla de tierra del tamaño de un puño y se comprime, luego se deja caer a una altura de 1.10m, y dependiendo de cómo se desintegre al golpear con el suelo se puede caracterizar la humedad de la mezcla.
- Prueba de control de fisuras (Perú), para seleccionar la preparación de la mezcla de mortero de pega se realiza esta prueba con dos adobes existentes, se unen con mortero nuevo, se realizan cuatro muestras con diferentes dosificaciones, después de 48 horas se abren las muestras para observar el agrietamiento del mortero, y se elige la dosificación en la que no se observen agrietamientos.
- Prueba cualitativa de resistencia de unidades de adobe (Marruecos), resistencia a la compresión en seco (Estados Unidos), prueba de presión después de 7 días de retención (Turquía), prueba de resistencia a la flexión (Francia); buscan medir cualitativamente en obra la resistencia de los bloques de adobe, apoyando un bloque de adobe en dos extremos y con un peso encima, de 70kg, se observa si se rompe.

6. En los manuales evaluados se encuentran pruebas visuales como: Manipulación de olor (Francia), vista tacto y olfato y además la prueba de la botella (San Salvador). Estas pruebas son muy efectivas para lugares que sean de difícil acceso económico y social, como se muestra en la Figura 3.

	Vista	Olfato	Tacto	
Areilla o barro	 Tierra roja	 Olor agradable	 Pegajosa	Al agregarle agua, se queda pegada entre los dedos y cuesta lavársela.
Arena	 Tierra gris	 Casi no tiene olor	 Rugosa	Se sienten los granos entre los dedos
Limo	 Tierra blanca	 Apenas huele	 Muy fina	Se siente como harina, es polvosa.
Materia orgánica	 Tierra negra	 Olor a podrido	 Porosa	Se siente húmeda, se pega a las manos y mancha.

Figura 3 Prueba con los sentidos. Fuente: (Equipo Maiz y UNES, 2000)

Por otra parte, se evaluaron temas normativos referentes a caracterización geotécnica de los suelos para el uso de materia prima en las construcciones de tapia pisada y adobe.

Pruebas cuantitativas

1. Análisis granulométrico (Chile y Marruecos)
2. Límites de Atterberg (Chile y Marruecos)
3. Peso específico, densidad y contenido de humedad (Chile)

4. Análisis de los componentes minerales, minerales arcillosos (Chile), determinación del valor del azul de metileno (Marruecos)
5. Contenido de carbonatos (Chile), contenido de cloruros, sulfatos y materiales orgánicos (Marruecos)
6. Prueba de compresión no confinada, de compactación, edométrica, corte directo y de hinchamiento (Chile)
7. Prueba de proctor (Marruecos)
8. Resistencia a la compresión en húmedo, módulo de ruptura, porcentaje de absorción, contenido de humedad, la erosión por rociado y goteos (Estados Unidos), prueba de erosión (Geelong) (Nueva Zelanda).
9. Determinación de resistencia de muestras unitarias y evaluación de la resistencia de diseño a partir de los resultados de la prueba (Nueva Zelanda)

Pruebas a los materiales

Tabla 0-2 Pruebas que se realizan a los materiales

País	Perú	Chile	Marruecos	Estados Unidos	Turquía	Francia	San Salvador	Nueva Zelanda
Pruebas en campo	Prueba cinta de barro			Prueba cinta de barro	Prueba de cinta	El cigarro: Características de suelos arenosos o arcillosos	El cigarro o del puro	
	Prueba presencia de arcilla o resistencia seca			Prueba presencia de arcilla o resistencia seca		La pastilla: evaluación de la resistencia de la tierra	Prueba de la pastilla	
	Prueba contenida de humedad							Prueba de evaluación húmeda / seca
	Prueba de control de fisuración							Prueba de contracción
								Prueba de erosión (método Geelong)
								Prueba de caída del contenido de humedad de la mezcla de tierra pisada
			Prueba resistencia de unidades de adobe cualitativa				Prueba de resistencia a flexión	Prueba de caída de ladrillos de tierra
							Manipulación olor	Vista, tacto y Olfato
								Prueba de la botella

Tabla 2 Pruebas que se realizan a los materiales , continuación

País	Perú	Chile	Marruecos	Estados Unidos	Turquía	Francia	San Salvador	Nueva Zelanda
Pruebas en laboratorio		Granulometría	Análisis granulométrico					
		Peso Específico						
		Densidad						
		Contenido de humedad						
		Límites de Atterberg	Límites de Atterberg				Prueba de la botella	
			Determinación del valor del azul de metileno					
		Análisis de los componentes minerales, minerales arcillosos y contenidos de carbonatos.	Determinación de contenido de sulfatos, cloruros y materiales orgánicos					
				Resistencia a la compresión en seco	Prueba de presión después de 7 días de retención.			Determinación de resistencia de muestras unitarias
		Propiedades mecánicas: prueba de compresión no confinada, de compactación, edométrica, corte directo y de hinchamiento.		Resistencia a la compresión en estado húmedo				Evaluación de la resistencia de diseño a partir de los resultados de la prueba
			Prueba de Proctor	Módulo de ruptura				
				Porcentaje de absorción, contenido de humedad, la erosión por rociado y goteos.				
							Prueba de resistencia de tracción a la flexión Fet	

Dosificación de materiales y características

De las normas y reglamentos estudiados, cinco especifican porcentajes de dosificación de materiales, contenidos de humedad, plasticidad, materiales estabilizantes, entre otros.

La norma de Marruecos contiene información sobre la Tapia Pisada y el Adobe; el reglamento de Estados Unidos, cita materiales estabilizantes para las construcciones en tierra; en Turquía la norma se enfoca en el adobe, los aglutinantes que se pueden adicionar a la mezcla y las dimensiones recomendadas; en el manual de San Salvador se especifican las dosificaciones para tener en cuenta al momento de realizar la mezcla para los adobes y las dimensiones que se manejan; en Nueva Zelanda la norma indica los contenidos de humedad en material tierra. Como se indican en las tablas 3-1 y 3-2.

Tabla 0-3 -1 Porcentaje de cantidades de materiales y características para el adobe

País	Marruecos	Turquía	San Salvador
Porcentajes de cantidades en materiales y características ADOBE	No se tolera un contenido de materia orgánica del 3%	Exentos de aceites y grasas.	No se tolera un contenido de materia orgánica del 3%
	Granulometría	Materiales	Granulometría
	Arcilla 10-20%	Arcilla 30-40%	Arcilla 20%
	Limos 15-25%	Paja	Limos 40%
	Arena 50-70%	Aglutinantes: cemento, resina, alquitrán, cal, puzolanas.	Arena 40%
Geometría	Dimensiones (cm)	Dimensiones (cm)	
Cuadrada, rectangular u otra forma para construir ángulos diferente a 90°	12x19x40	30x30x10	
Rectangulares: longitud doble del ancho	12x30x40	20x14x10	
Altura: del orden de 1/4 de su longitud	12x18x30		
Altura mínima: 8cm	12x25x30		
Zona sísmica alta: 20x40x10cm			
Plasticidad			
IP 10-25%			
LL 25-45%			
LP 10-25%			

Tabla 3 2 Porcentaje de cantidades de materiales y características Tapia Pisada

País	Marruecos	Nueva Zelanda	
Porcentajes en cantidades de materiales y características TAPIA PISADA	Espesor mínimo de los muros	40cm	
	Granulometría		
	Grava	2-10%	
	Arena	32-58%	
	Limo	8-16%	
	Plasticidad		
	IP	7-29%	
	LL	<50%	
	LP	>10%	
	Compacidad		
Contenido óptimo de agua	$7% < W_{opt} < 16%$	Contenido de humedad para compactación 3%	
Densidad máxima en seco	$1,7% < D_s \max < 2,1%$	Contenido de humedad seco óptimo $W_{opt} < 4%$	
Densidad mínima permitida	1,6 t/m ³	Contenido de humedad húmedo óptimo $W_{opt} < 6%$	
Compacidad	> 90%		
Actividad de arcilla (prueba azul de metileno)			
Tierra buena	VB < 1,5		
Límite aceptable con estabilización	1,5 < VB < 5		
Tierra que se debe excluir	VB > 5		
* Se retiene el terreno con una superficie específica entre 20 y 100 m ² /g			
Material estabilizado			
Cemento : compatible con suelos arenosos, con contenido de materia orgánica de menos del 2%.	4-8%		
Cal apagada: efectiva en suelos arcillosos	6-10%		

Comparando los factores mencionados se encuentra que:

Granulometría

Tabla 0-4 Granulometría Tapia Pisada

TAPIA PISADA	
GRANULOMETRIA	Marruecos
Grava	2-10%
Arena	32-58%
Limo	8-16%

Tabla 0-5 Granulometría Adobe

ADOBE			
GRANULOMETRÍA	Marruecos	Turquía	San Salvador
Arcilla	10-20%	30-40%	20%
Limos	15-25%		40%
Arena	50-70%		40%

La importancia de la arcilla en el adobe es notable en el porcentaje de mezcla, debido a su propiedad principal de elemento cohesionador en cualquier construcción en tierra.

Contenido de materia orgánica

La mayoría de las normas establece que no debe existir materia orgánica en la mezcla; en la norma de Marruecos y el manual de San Salvador no se tolera un contenido de materia orgánica mayor al 3%, en Turquía se establece además que la mezcla debe estar exenta de aceites y grasas.

Materiales estabilizantes

Tabla 0-6 Materiales estabilizantes de la tierra

MATERIALES ESTABILIZANTES DE LA TIERRA

Marruecos	Estados Unidos	Turquía
<p>Cemento: compatible con 4-8% suelos arenosos con contenido de materia orgánica de -2%</p> <p>Cal apagada: efectiva en 6-10% suelos arcillosos</p>	<p>Cemento</p> <p>Emulsión de asfalto</p> <p>Yeso calcinado o jugo de cactus</p>	<p>Paja.</p> <p>Aglutinantes: cemento, resina, alquitrán, cal y puzolanas</p>

Los suelos pueden estabilizarse utilizando los materiales mencionados en la tabla para ayudar a controlar las propiedades expansivas de algunas arcillas, proporcionar mayor adherencia y mayor resistencia a la intemperie. Además, es común utilizar paja seca para control de fisuras.

Dimensiones de adobes

Tabla 0-7 Dimensiones de los Adobes

DIMENSIONES ADOBES		
Marruecos	Turquía	San Salvador
Cuadrada, rectángulos y otra forma para construir ángulos diferentes a 90°	12x19x40cm	30x30x10cm
	12x30x40cm	20x14x10cm
Altura: ¼ de su longitud	12x18x30cm	
Mínimo 8cm	12x25x30cm	
20x40x10cm		

Plasticidad

La plasticidad es una característica geotécnica de los suelos muy importante en la construcción en tierra, siendo esta la capacidad de modificar la consistencia de la mezcla en función de la humedad.

La norma de Marruecos establece rangos para los límites de Atterberg, así:

Tabla 0-8 Plasticidad según norma de Marruecos

	TAPIA PISADA	ADOBE
IP	7-29%	10-25%
LL	<50%	25-45%
LP	>10%	10-25%

Contenido de humedad

Tabla 0-9 Contenido de humedad y compactación del material tierra

CONTENIDO DE HUMEDAD Y COMPACTACIÓN			
MARRUECOS		NUEVA ZELANDA	
Contenido óptimo de agua	7% < W _{opt} < 19%	Contenido de humedad para compactación	3%
Densidad máxima en seco	1.7% < D _s máx < 2.1%	Contenido de humedad seco óptimo	W _{opt} < 4%
Densidad mínima permitida	16 T/m ³	Contenido de humedad húmedo óptimo	W _{opt} < 6%
Compacidad	>90%		

Actividad de arcilla

La prueba de azul de metileno en los suelos tiene como objetivo caracterizar de manera global la fracción arcillosa de un suelo, en la norma de Marruecos se establecen unos parámetros de la siguiente manera:

Tabla 0-10 Actividad de arcilla con prueba de azul de metileno

ACTIVIDAD DE ARCILLA	
Tierra Buena	VB < 1,5
Límite aceptable con estabilización	1,5 < VB < 5
Tierra que se debe excluir	VB > 5
* Se retiene el terreno con una superficie específica entre 20 y 100 m ² /g	

Ensayos de laboratorio

En las normas de Perú, Chile, Marruecos, Turquía y Nueva Zelanda se identificaron diferentes ensayos de laboratorio para la caracterización de los materiales en muretes o muestras en donde se halla la resistencia a: compresión, corte y flexión, estos se mencionan en la Tabla 11.

Ensayos de laboratorio

Tabla 0-11 Ensayos para construcciones en tierra

PERÚ		CHILE		MARRUECOS		TURQUÍA		NUEVA ZELANDA	
Ensayo de compresión de cubos	1,0MPa	Resistencia a la compresión de la unidad de adobe	1,2MPa	Resistencia a la compresión de cubos de adobe (el 80% superior de 6 pruebas)	1,2MPa	Resistencia a la compresión de los bloques, mínima	0,8MPa	Resistencia a la compresión, f_c	0,5MPa
				Resistencia a la compresión Tapia Pisada: 6 muestras cilíndricas (16x32cm o 25x50cm). $f_c =$	0,5MPa	Resistencia a la compresión de los bloques, promedio	1MPa	La resistencia a la compresión se aumenta con un factor K cuando el muro tiene 10 o más ladrillos de largo	
								La resistencia a la compresión se calculará a partir de la resistencia a la tracción a la flexión, cuando no se tengan pruebas de compresión	$f_{ct} = 3,5f_c$
Ensayo de resistencia a compresión de murete	0,6MPa	Resistencia última a la compresión de pilas de albañilería de adobe	0,6MPa						
				Resistencia a compresión de un muro	0,25 f_c				
				Resistencia mínima a compresión en muro (sin ensayo)	0,2MPa				
Resistencia de muros a tracción por flexión	0,14MPa			Resistencia a la tracción a la flexión, en ausencia de prueba	0,1 f_c			Resistencia a tensión por flexión f_{ct}	0,1MPa
								La resistencia a la tensión por flexión se puede tomar como 0,10 f_c para materiales de construcción de tierra con una resistencia a la compresión inferior a 6MPa	$f_{ct} = 0,10 f_c$

Tabla 11 Ensayos para construcciones en tierra, continuación

PERÚ		CHILE		MARRUECOS		TURQUÍA		NUEVA ZELANDA	
Ensayos de compresión por aplastamiento en muretes	1,25f'm	Resistencia admisible a la compresión por aplastamiento de la albañilería de adobe, si no existen pruebas	1,25f'm						
Ensayo de resistencia del mortero a la tracción	0,012MPa							Resistencia a la tensión / unión a la flexión feb	0,02MPa
Resistencia a la tracción indirecta del murete, ensayo de compresión diagonal	0,025MPa	Resistencia al corte de la albañilería de adobe	0,025MPa	Resistencia al corte del murete de adobe (sin ensayo)	0,025MPa			Resistencia al corte, será el mayor de: $f_{es} = 0,07f_{e}$ o $f_{es} = (70 + 5h) < kPa$	
				Resistencia al corte murete de adobe	0,4ft				
				Resistencia al corte Tapia Pisada. F_s	0,07F _c				
				En ausencia de prueba al corte en tapia $F_{es} =$	0,08MPa			Resistencia al corte de la tierra para la carga del viento y para carga sísmica como respuesta elástica, f_{es}	0,08MPa
								Resistencia al corte de muros reforzados con acero f_{es}	0.35MPa
Módulo de elasticidad de muros en tierra (si no se realiza ensayo)	200MPa	Módulo de elasticidad de muros en tierra	200MPa					Módulo de elasticidad de muros en tierra	300x f_e

Perú, Chile, Marruecos, Turquía y Nueva Zelanda especifican ensayos para encontrar la resistencia a la compresión, tracción y corte como se cita a continuación.

También se indican valores de resistencia máximos cuando no se realizan ensayos.

Resistencia a compresión

Tabla 0-12 Resistencia a compresión

País	Descripción ensayo	valor	
Perú	Ensayo de compresión de cubos	1.0MPa	
Chile	Resistencia última a la compresión de la unidad de adobe	1.2MPa	Adobe
Marruecos	Resistencia a la compresión en cubos (el 80% superior de 6 pruebas)	1.2MPa	Adobe
	Resistencia a la compresión: 6 muestras cilíndricas (16x32cm o 25x50cm). $F_c=?$	0.5MPa	Tapia Pisada
Turquía	Resistencia a la compresión de los ladrillos, mínima	0.8MPa	Adobe
	Resistencia a la compresión de los ladrillos, promedio	1.0MPa	Adobe
Nueva Zelanda	Resistencia a la compresión, fe	0.5MPa	Adobe
	La resistencia a la compresión se calculará a partir de la resistencia a la tracción a la flexión, cuando no se tenga pruebas de compresión	$f_e = 3,5f_{et}$	

El esfuerzo máximo que indican los ensayos a compresión en las normas bajo una carga de aplastamiento está en el rango de 0.5MPa y 1.2MPa; Véase tabla 12.

Resistencia a compresión de muretes

Tabla 0-13 Resistencia a compresión de muretes

Perú	Ensayo de resistencia a compresión de murete	0.6MPa
-------------	--	--------

Chile	Resistencia última a la compresión de pilas de albañilería de adobe	0.6MPa
--------------	---	--------

Para realizar el ensayo a compresión la norma de Perú señala que los muretes de adobe o de tapia pisada deben tener una altura igual a tres veces la dimensión menor de la base, se hace después de 28 días de secado en 6 muestras, la resistencia última es 0.6MPa.

En cambio, Chile da como valor $f'm$: 0.6MPa si no existen pruebas de laboratorio.

Resistencia a compresión en muros

La norma de Marruecos señala que el número mínimo de adobes es cuatro y el grosor de las juntas es de 2cm, además los muros deben secarse durante 30 días antes de someterse al aplastamiento, en donde se deben realizar mínimo 3 muretes de prueba; el esfuerzo a compresión se obtiene de la expresión $f'm = 0.25fm$. En el caso de no tener resultados inferiores se puede usar $f'm = 0.15fm$, el valor mínimo de resistencia a compresión es 0.2MPa.

Resistencia a la tracción por flexión

Tabla 0-14 Resistencia a la tracción por flexión

País	Descripción ensayo	Valor
Perú	Ensayos de muros a tracción por flexión	0.14MPa
Marruecos	Resistencia a la tracción por flexión en ausencia de prueba	0.1fc
Nueva Zelanda	Resistencia a tensión por flexión <i>f_{et}</i>	0.1MPa
	La resistencia a la tracción a la flexión se puede tomar como 0,10f _e para materiales de construcción de tierra con una resistencia a la compresión inferior a 6MPa	F _{et} = 0.1fc

Marruecos, indica que en ausencia de resultados de flexión a la prueba de tracción se toma $f_{tf} = 0.1fc$, donde fc se determina en la prueba de resistencia a la compresión; igualmente lo indica la norma de Nueva Zelanda.

Resistencia al corte

Tabla 0-15 Resistencia al corte

Perú	Resistencia a la tracción indirecta del murete, ensayo de compresión diagonal	0.025MPa
-------------	---	----------

Chile	Resistencia al corte de la albañilería de adobe	0.025MPa
Marruecos	Resistencia al corte en muretes de adobe (sin ensayo)	0.025MPa
	Resistencia al corte murete de adobe	0.4ft
	Resistencia al corte Tapia Pisada, F_s	0.07 F_c
	Resistencia al corte Tapia Pisada (en ausencia de resultados)	0.08MPa
Nueva Zelanda	Resistencia al corte de la tierra para cargas de viento y sísmicas, para respuesta elástica, f_{es}	0.08MPa
	<i>Resistencia al corte, será el mayor de:</i>	0.07 f_e
	<i>$f_{es} = 0,07f_e$ o $f_{es} = (70 + 5h) \text{ kPa}$</i>	70+5h
	Resistencia al corte de tierra reforzada con acero f_{es}	0.35MPa

La resistencia última es de 0.025MPa en Perú, con un ensayo de compresión diagonal o tracción indirecta de muestras en adobe o tapia pisada de aproximadamente 0.65m x 0.65m x em, siendo em el ancho del muro; se realiza el ensayo a 6 muestras y se toma el valor del promedio de las mejores 4, después de 28 días de secado. En la norma de Chile se encontró que se debe considerar 0.025MPa en la resistencia al corte de la albañilería de adobe cuando no existen pruebas de laboratorio.

En Marruecos, la resistencia al corte de los muros de tierra se obtiene con el ensayo de compresión diagonal, la compresión a lo largo de la diagonal del muro, obteniendo $V_m = 0.4ft$, con una relación de $f_t = P / (2aem)$, en donde P es la fuerza a compresión; a es el ancho del murete y em es el espesor del murete. En el caso de que no haya resultados disponibles en muros se puede utilizar la expresión $V_m = 0.025MPa$, siendo esta la misma que indica la norma de Chile.

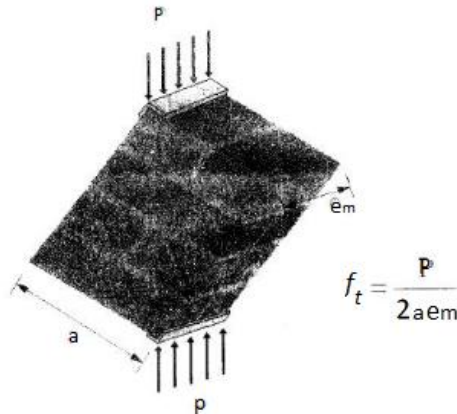


Figura 4 Prueba Resistencia al corte. Fuente: (Comité nacional des constructions en terre, 2013)

Por otra parte, la norma marroquí indica que la resistencia al corte en tapia pisada es igual a $f_s = 0.07f_c$, y en ausencia de los resultados de la prueba, la resistencia al corte se toma como $f_{es} = 0.08 \text{MPa}$

Nueva Zelanda tiene más datos respecto a resistencia a corte de los muros en tierra, la resistencia al corte de la tierra para la carga del viento y para carga sísmica con respuesta elástica $f_{es} = 0.08 \text{MPa}$, el mismo valor de Marruecos en ausencia de resultados de prueba.

Módulo de elasticidad

Tabla 0-16 Módulo de elasticidad

Perú	Módulo de elasticidad	200MPa
Chile	Módulo de elasticidad de muros en tierra	200MPa
Nueva Zelanda	Módulo de elasticidad de muros en tierra	300x f_e

Las normas de Perú y Chile establecen $E = 200 \text{MPa}$ si no se realizan pruebas de laboratorio, por otro lado, Nueva Zelanda establece un parámetro de $300 \times f_e$, que con los datos de f_e que establece esa norma sería menor el módulo de elasticidad.

2.2. SISTEMAS ESTRUCTURALES

Los documentos estudiados tienen en común que el sistema estructural que emplean en las construcciones en tierra son muros portantes, los cuales están contruidos con un sistema de techo que se sugiere en lo posible sea liviano, un sistema de viga collar o viga de amarre, de ser el caso de más de un piso un sistema de entre piso que contribuya a la rigidez horizontal, un sobrecimiento y un cimientto. Adicionalmente, se aborda un tema de durabilidad y longevidad con la evaluación de morteros, pañetes y yesos.

2.2.1. Resumen y comparación de sistemas estructurales y aspectos constructivos en las normas y reglamentos estudiados

En este capítulo se pretende identificar punto a punto con la comparación respectiva de las normas los componentes del sistema estructural: cimentación, sobrecimiento, muros, vigas de amarre, cubiertas, entrepisos, refuerzos; por otra parte, se aborda el tema de protección contra la lluvia.

Criterios y límites geométricos

Los criterios se basan en la forma e incluyen que los muros deben ser portantes:

Perú indica en su norma que la densidad de los muros en la dirección de los ejes principales debe tener un valor mínimo dependiendo el factor de uso entre 8 y 15%, de ser posible todos los muros deben ser portantes y estar arriostrados.

Los criterios para la configuración geométrica dependen del espesor (e), densidad, altura libre de los muros (H), distancia entre los arriostres verticales (L), ancho de los vanos (s), materiales, técnicas constructivas. Los vanos deben tener proporciones y ubicación de acuerdo con lo indicado en la Figura 5, es recomendable que sean pequeños y centrados.

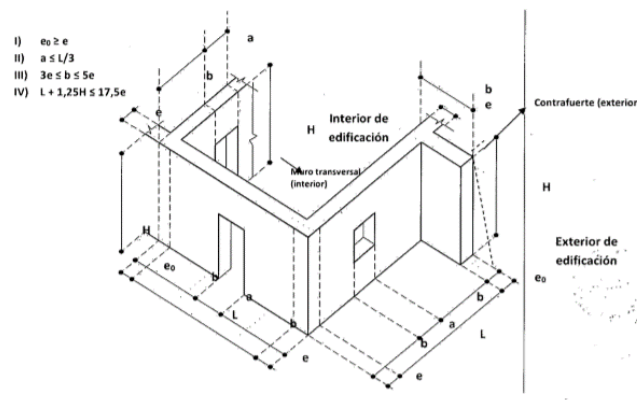


Figura 5 Límites geométricos de muros y vanos. Fuente: (Equipo de Perú, 2017)

El reglamento de Estados Unidos establece un límite de aberturas totales de la pared a un tercio de la longitud de muro, el límite del tamaño de la abertura a 1.2m (4pies) y que se proporcionen longitudes de pared de al menos 1.2m (4pies) entre las aberturas.

Los manuales de Alemania, Francia y San Salvador tienen en común los siguientes parámetros geométricos para darle estabilidad a una vivienda de construcción en tierra:

En el manual de Alemania la forma de la planta es muy importante para la estabilidad de la vivienda. Entre más compacta la planta, más estable será la vivienda, una planta cuadrada es mejor que una rectangular y una circular es la forma óptima. Las plantas con irregularidades no son recomendables, si estas fuesen necesarias recomiendan separar los espacios, la unión entre los mismos debe ser flexible y liviana.

En el manual de Francia indican que una vivienda para sísmica debería tener la forma de cubo para garantizar la resistencia al sismo, a partir de esto desarrollan las etapas técnicas estructurales necesarias. También señala que deben evitarse: las formas en T y C; las construcciones de viviendas en dos niveles; las vigas del falso techo colocadas encima del muro directamente; la utilización de muros interiores como apoyo del techo; construcciones hechas en terrenos con pendiente; los grandes espacios abiertos entre los muros; y, las columnas, arcos, cúpulas y bóvedas.

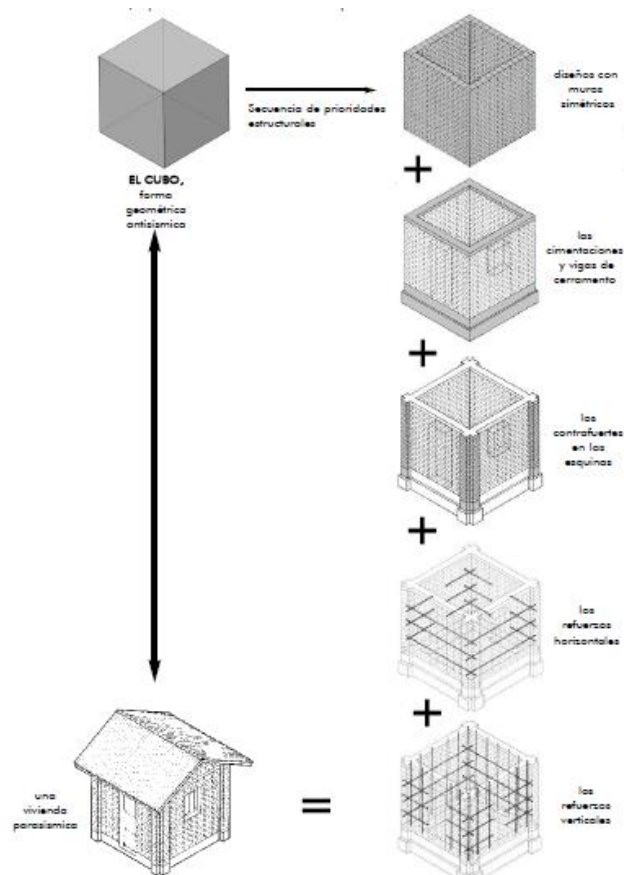


Figura 6 Geometría en forma de cubo. Fuente: (Carazas, 2002)

En el manual de San Salvador establecen una proporción de tres a uno, es decir si el muro tiene tres metros de alto debe tener un metro de ancho, se destaca el aparejo en la construcción de los muros, por tal motivo este manual considera muros de 30 cm y de ser necesario más espesor en los muros, para guardar proporciones de esbeltez es necesario la construcción con más ladrillos por hilada, resaltando la cualidad del adobe es su "masividad". Además, el construir casas con amplios corredores por los cuatro costados, evitando que la lluvia azote en las paredes, como las casas antiguas.

Esbeltez de muro

Un parámetro importante en la construcción es la esbeltez de los muros, en las construcciones en tierra juega un papel importante debido a la masividad que es una cualidad importante en este sistema estructural de muros portantes.

Se encuentra que es común establecen una esbeltez de muro de 8, así como se indica que una esbeltez no mayor de 6 para zonas de amenaza sísmica alta.

Tabla 0-17 Esbeltez de muros l/e

País	Esbeltez vertical	Esbeltez horizontal
Perú	Igual o menor a 6. O máximo de 8, si cumple: $\lambda h + 1.25 \lambda v \leq 17.5$	Igual o menor a 10
Chile	No mayor a 8.	
Estados Unidos	8 veces su espesor (sismicidad intermedia) 6 veces su espesor (sismicidad alta)	
Alemania	No mayor a 8.	
Francia	Distancia máxima de un muro entre los elementos de arriostre será de 10 veces el espesor	

Cimientos

La propiedad fundamental de un cimiento es transmitir las cargas de la estructura al suelo, en los documentos revisados se hallan características mínimas que deben tener los cimientos, para proteger el muro de la humedad, por fenómenos de capilaridad; el resumen de las características se muestra en la tabla 18 y un esquema de las partes básicas de un cimiento se muestra en la Figura 7.

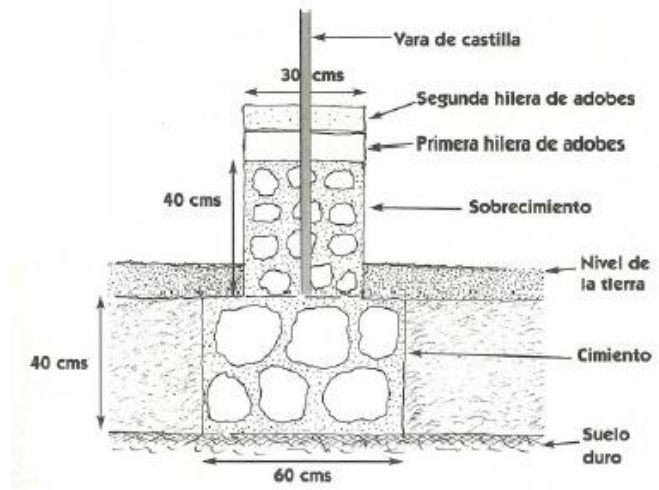


Figura 7 Cimiento y sobrecimiento, Fuente: (Equipo Maiz y UNES, 2000)

Tabla 0-18 Características de cimientos

Característica de cimiento	PERÚ	MARRUECOS	TURQUÍA	ALEMANIA	FRANCIA	SAN SALVADOR	NUEVA ZELANDA
Profundidad	0,60 m	0,80m	0,80 m			0,40 m	
Elevación		0,50m (zona lluvias) 0,20m (zona sin lluvias)	0,50 m	0,4 0m			0,225 m mínimo
Ancho	0,60 m	Como función del espesor del muro, así: 1t, para capacidad del suelo de 0,2MPa 1,5t en suelo firme (dos niveles) 1,5t en suelo moderadamente firme de 0,15MPa 2t en suelo moderadamente firme (dos niveles)	0,50 m	0,20 m mayor al sobrecimiento	0,40 m mínimo 1,5x el ancho del muro	0,60 m	el mismo del muro
Materiales		Mampostería con mortero de cal o cemento Concreto ciclópeo Concreto armado	Piedra de cantera Piedra de canto de rodado	ladrillos o piedras Concreto ciclópeo Concreto armado	En función de la disponibilidad	Piedra de cantera Piedra de cuarta	Concreto armado Mampostería de concreto armado Mampostería de piedra

A continuación, se describen las características que se tienen en cuenta:

Perú: los cimientos deben tener una profundidad mínima de 0.60m y un ancho mínimo de 0,60 m.

Marruecos: los cimientos de los muros de tierra están formados por una base cuya geometría depende de la capacidad de carga de los suelos de cimentación y de las fuerzas estáticas y sísmicas que les tramiten los muros de carga.

En mampostería de piedra con mortero con una base en un aglomerante hidráulico (cal o cemento) o concreto ciclópeo, también puede ser concreto armado o en mampostería de piedra o de ladrillo macizo. El ancho de los cimientos debe cumplir con las siguientes condiciones:

Igual al espesor de los muros en el caso de un edificio a un solo nivel basado en tierra firme (tensión admisible de 0.2 MPa).

1.5 veces el espesor del muro para una construcción de suelo firme de dos pisos.

Igual a 1.5 veces el grosor de los muros en el caso de una construcción a un nivel basado en un suelo moderadamente firme (tensión permisible entre 0.15 y 0.2 MPa)

Igual a 2 veces el grosor de los muros en el caso de una construcción de dos pisos basada en un suelo moderadamente firme (tensión permisible entre 0.15 y 0.2 MPa).

Tendrán una profundidad mínima de 80 cm, excepto en suelos rocosos. En áreas donde hay fuertes lluvias los cimientos deben elevarse por encima del nivel del suelo exterior en un mínimo de 50 cm En todas las demás áreas, la parte superior de los cimientos debe tener una altura mínima de 20 cm desde el nivel del suelo externo.

Para las aceras periféricas, un sistema de drenaje apropiado completará el sistema de protección contra daños por agua con una pendiente mínima del 3%.

Turquía: El material de piedra para utilizar en sótanos debe ser de cantera. Sin embargo, en lugares donde no hay cantera, usan piedra recolectada de arroyos y la tierra proporcionada y su tamaño máximo no debe ser mayor que el espesor de la pared de piedra.

En estructuras de adobe, la profundidad de la base del cimiento no debe ser inferior a 80 cm y la profundidad de las heladas; si se encuentra la roca, esta profundidad se puede reducir y se debe aumentar cuando se encuentran suelos malos. En estructuras de adobe, el ancho básico del muro debe ser de al menos 50 cm en sótano con muro de piedra. En edificios sin sótano, la base está al menos 50 cm por encima del punto más alto del terreno natural.

Alemania: la altura mínima del cimiento será de 0.40 m. Puede ser más alto si la resistencia del suelo no es suficiente o si el suelo tiende a congelarse hasta una profundidad mayor. El espesor usualmente es 20 cm mayor que el del sobrecimiento.

En un muro de tapial de 50 cm de espesor, el cimiento y el sobrecimiento pueden tener el mismo espesor que el muro. Los sobrecimientos son usualmente ejecutados con ladrillos o piedras, pero deberán ejecutarse preferentemente con concreto ciclópeo o concreto armado. Su altura no deberá ser menor a 0.30 m.

Francia: El peso de la estructura debe estar adaptado a la capacidad portante del terreno que debe ser un suelo estable. También se garantizará una buena conexión entre la estructura y la cimentación y un buen anclaje entre esta y el suelo.

La decisión de escoger un tipo de material para las cimentaciones estará en función de la disponibilidad del material, los costos y rapidez en la puesta en obra. El ancho mínimo de una cimentación será de 40 cm Sin embargo, se recomienda que sea una relación 1.5 veces el ancho del muro.

San Salvador: Tendrán 60cm de ancho por 40 cm de profundidad, la excavación debe penetrar 10 cm en tierra firme, si en esta distancia no se encuentra tierra firme o suelo duro, es necesario estabilizarlo.

Los materiales que sugiere para realizar el cimiento son: piedra de cantera o piedra de cuarta y recomiendan no usar piedra de bola o piedra redonda de ríos porque no se pega con la mezcla. Como método constructivo, por cada hilera de piedra se hace un lleno de concreto pobre y así sucesivamente hasta cubrir toda la cimentación. La mezcla de concreto pobre es de 6 de arena por 1 de cemento.

Nueva Zelanda: Los materiales de los cimientos deben ser de concreto armado del mismo ancho del muro de tierra que soporta, o de relleno sólido. También se acepta mampostería reforzada de concreto armado o ladrillo cocido o mampostería de piedra.

Para muros de más de 300 mm de ancho, se utilizarán zapatas de concreto armado que deberán tener el mismo ancho del muro. La parte superior de la base deberá estar mínimo a 150 mm por encima del nivel de la superficie terminada y la altura de los cimientos no debe ser inferior a 225 mm por encima del acabado del terreno donde este es tierra, grava suelta u otra superficie sin pavimentar.

Sobrecimiento

La función del sobrecimiento es primordial en el sistema estructural de muros en tierra; como se ha mencionado, los agentes que afectan las estructuras en tierra aparte del sismo son el agua y el viento. La ascensión de capilaridad y la erosión afecta directamente al material tierra, y desde la función del cimiento y el sobrecimiento, se hace la corrección de estas acciones. Por otra parte, debe ser el soporte del muro y tener la suficiente capacidad. Las especificaciones son las siguientes:

Perú: Todo cimiento debe elevarse sobre el nivel del terreno mínimo 0,30m y tener un ancho mínimo de 0,40m. Tipos de sobrecimiento: mampostería de piedra con mortero de cemento o cal y arena gruesa, o concreto ciclópeo.

Marruecos: con materiales de piedra de mortero de cal o cemento o concreto ciclópeo o ladrillos de concreto sólido se realiza sobre los cimientos enterrados a una altura de 0,30 m en el caso de una región seca, y 0,60 m en el caso de una región con precipitaciones medias o altas.

Francia: Es necesario tener una buena cimentación y que los sobrecimientos pasen unos 0,20m por encima del nivel del terreno al exterior para evitar que cuando llueva el muro absorba la humedad y, si el nivel de piso interior es más bajo que el exterior, haya inundaciones.

San Salvador: con la ayuda de un encofrado de madera, se hace un sobrecimiento de 0,40m de alto por 0,30m de ancho. Los materiales son; piedra pequeña y mezcla de concreto pobre, por cada hilera de piedra se coloca un llenado de concreto pobre.

Muros

Siendo los muros los elementos centrales en la conformación del sistema estructural, se especifican en todos los documentos varias condiciones geométricas y de configuración que se enuncian a continuación, en la Tabla 19.

Tabla 0-19 Características de los muros

PERÚ	MARRUECOS	TURQUÍA	ALEMANIA	FRANCIA	SAN SALVADOR
Espesor mínimo: 0,40m		Espesor mínimo: 0,40m muros de adobe			
		Espesor mínimo: 0,47m (zona de alta sismicidad)			
		Altura: ancho 0,40m -2,40m ancho 0,47m -2,70m ancho 0,62m - 3,50m			
	Longitud libre: máximo 5m	Longitud libre: máximo 4m			
Arriostres horizontales: entrepiso y techos					
Arriostres verticales: contrafuerte o muros transversales	Arriostres verticales: Los muros sin carga deben estar arriostros por muros perpendiculares con un espacio no mayor a 12 veces el grosor del muro sin carga. Si superan 5m de largo se adicionan contrafuertes			Arriostres verticales: muros transversales	Refuerzos verticales a 0,64m
				Refuerzos internos para mejorar la estabilidad del muro	
Muros curvos					
Adobe: las juntas no exceden 30mm		Juntas máximo de 15mm	Juntas máximo 20mm		Juntas máximo 20mm
Tapia: se usan moldes circulares					
Radios entre 1,25-3,00m deben existir muros transversales o arriostres cada 12 veces el espesor del muro					

En la norma de Perú, se encuentra la descripción de muros curvos para plantas poligonales con formas de adobe especial, y las juntas verticales no deben exceder de 30mm en su parte más ancha. Por otra parte, en muros de Tapia se utilizan moldes circulares.

Los muros curvos deben ser reforzados y deben tener viga collar superior. Muros con radios mayores a 3.00m se deben considerar rectos. Para radios entre 1.25m y 3.00m deben existir muros transversales o arriostres verticales cada 12e y la esbeltez vertical no debe ser mayor a 10. Los muros con radios menores a 1,25m, no requieren limitaciones de arriostres verticales.

Igualmente, los muros deben tener un espesor mínimo de 0,40m, deben tener arriostres horizontales (entrepiso y techos) y arriostres verticales (contrafuerte o muros transversales).

En la norma de Marruecos, la distancia entre los muros de arriostramiento de los muros exteriores, con carga y sin carga será 12 veces el grosor de la pared arriostrada. En ningún caso esta distancia debe superar los 5 m de largo. Para muros más largos se agregarán contrafuertes para cumplir con esta regla.

En la norma de Turquía, en las estructuras de adobe, el espesor de los muros exteriores de la mampostería es de 40 cm, y en las zonas de alta sismicidad es de 47 cm Los muros internos de soporte no deben ser menores de 25 cm y 30 cm en las zonas de terremotos. Los muros no deben ser más delgados que 25 cm

Altura de muros: Depende del ancho del muro

Para anchos de 40 cm; 2,40 m

Para anchos de 47 cm; 2,70 m

Si los muros tienen 62 cm de espesor; no más de 3.50 m.

Sin embargo, la altura de las paredes de adobe en zonas de terremotos no debe exceder los 2.70 m.

Longitudes libres de muro

La longitud interna libre de los muros de soporte sostenidas por muros a ambos lados en una dirección perpendicular no debe ser más de 4m.

Muros externos e internos

La construcción vertical de muro de adobe y las juntas horizontales deben llenarse completamente con mortero, el grosor de la junta no debe exceder los 1,5 cm

Los muros deben hacerse de acuerdo con su grosor y las dimensiones de adobe que se utilizarán; los puntos de intersección deben tejerse juntos.

Las juntas entre las filas de adobe deben ser horizontales.

En los lugares con posible humedad, como: cocina, baño, granero, etc. debe emplearse yeso impermeable o garantizar una ventilación adecuada.

Las instalaciones eléctricas, de agua, alcantarillado y similares deben realizarse sobre yeso y donde pasen no deben gotear.

En el manual de Alemania, los muros de adobe tienen diferentes tamaños y formas de adobes, con diferentes moldes, que usualmente son de madera.

Para la ejecución de la mampostería deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

Las capas horizontales del mortero no deben tener un espesor mayor a 2 cm

Las uniones verticales deben rellenarse completamente con mortero.

La calidad del mortero debe ser alta con un contenido de arcilla alto para obtener una buena adherencia y una alta resistencia a la flexión.

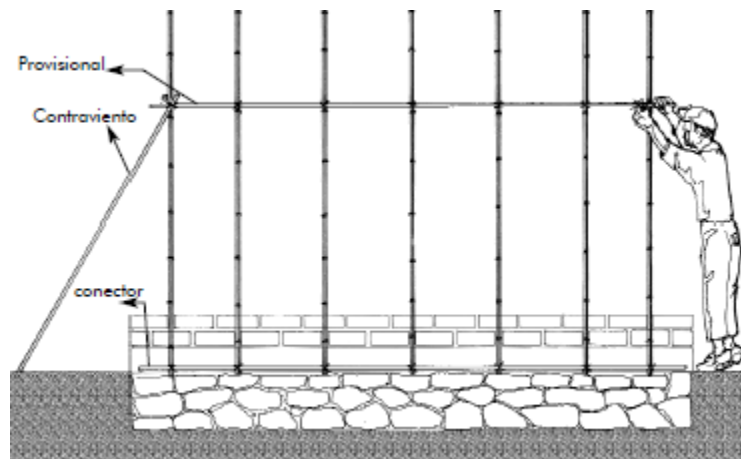
Los adobes deben mojarse antes de su colocación.

En el manual de Francia, los refuerzos verticales y horizontales incrementan la resistencia de los muros frente a los sismos.

Al colocar refuerzos al interior del muro mejora su estabilidad, evita la separación de ellos en las esquinas y por tanto el desprendimiento y caída del mismo.

Instalación

Definida la ubicación de las varas se procede a ponerlas de forma vertical, para ello se apoya en un conector horizontal en la parte baja (sobrecimiento) y otro en la parte alta, estos conectores permiten mantener las varas verticales a medida que se levanta el muro, por lo que solo serán de manera provisional, también se apoya en los laterales colocando varas de contravientos, como se muestra en la Figura 8.



En el manual de San Salvador que es para muros de adobe, instruyen el proceso de construcción, así:

Se coloca la primera y segunda hilera de adobes, la tercera hilera de adobes es igual que la primera y la cuarta igual que la segunda y así sucesivamente.

No es conveniente levantar más de un metro lineal al día, porque se sobrecargan las paredes sin haber alcanzado suficiente resistencia.

Juntas y morteros

Para continuar con la descripción del sistema estructural con tierra, se describen los morteros de unión en las juntas de los muros de adobe. Algunas normas y manuales los mencionan de la siguiente manera:

Estados Unidos: los morteros deben ser lo más parecido posible al mismo material de la mampostería en términos de resistencia, rigidez y permeabilidad. Los morteros de tierra no estabilizados no deben usarse en el exterior de mampostería de cemento o piedra estabilizada, y los morteros a base de cemento no deben usarse con mampostería de tierra no estabilizada. En todos los casos, las juntas de mortero deben mantenerse tan delgadas como sea posible; cuanto más delgadas son las juntas de mortero, más fuerte es el muro.

Turquía: Deben usarse para los morteros paja y similares; éstos materiales deben ser más cortos que el grosor de la junta, el tamaño más grande de junta es de 1.5 cm

No debe haber grandes fragmentos de piedra para la preparación del mortero y se debe permitir que el mortero descansa durante al menos una noche (12 horas). El suelo del mortero que se utilizará en el yeso debe ser tamizado, la paja debe ser más delgada y abundante, además, el amasado debe ser más cuidadoso que el de la preparación de los adobes.

Francia: El mortero para las uniones o juntas de los adobes se hace con el mismo material que se utiliza para hacer los adobes, hay que tener cuidado que la mezcla de tierra para pega de los adobes no tenga piedritas.

Arriostres

Las normas de Perú y Chile expresan que:

Se considera un muro arriostrado cuando existe suficiente adherencia o anclaje entre este y sus elementos de arriostre. Debe haber horizontales y verticales, señala la norma de Perú.

La longitud entre ejes de arriostramiento transversales de un muro debe ser menor a seis veces el espesor del muro; la verticalidad de un muro no debe ser mayor que 10% de su altura, en caso contrario debe considerar el uso de elementos de refuerzo

adicionales, el espesor mínimo del muro está determinado implícitamente por la esbeltez máxima, señala la norma de Chile.

Entrepiso y techos

El entrepiso y el techo juegan un papel importante en el sistema estructural de las construcciones en tierra, debido a que sirven como arriostramiento horizontal y de encadenamiento de los muros además de su función de transmisión de cargas, en lo posible a todos los muros de la estructura. En la Tabla 20 se indica lo encontrado en los documentos estudiados, así:

Tabla 0-20 Características de los techos

PERÚ	MARRUECOS	ESTADOS UNIDOS	TURQUÍA	ALEMANIA	FRANCIA	SAN SALVADOR
<p>Techos: Livianos</p> <p>Forma de techos: inclinados o a varias aguas</p> <p>Fijación: De los muros a la viga solera</p> <p>Materiales: madera, caña o fibras vegetales o tijerales.</p> <p>Si el techo no es un diafragma rígido no se le puede considerar apoyo superior a los muros</p>	<p>Fijación: De los muros a la viga en madera, concreto reforzado</p>	<p>Fijación: De los muros a la viga de enlace, los anclajes deben estar separados máximo 6 veces el espesor de la pared (Zona de sismicidad intermedia) y 3 veces el grosor de la pared (Zona de sismicidad alta)</p>	<p>El sistema de tijeras debe soportarse a los muros intermedios.</p>	<p>Forma de techos: se recomienda a cuatro aguas</p> <p>Fijación: coronados con una viga cadena o collarín.</p> <p>Los tijerales de la cubierta deben repartirse uniformemente en el encadenado.</p>	<p>Techos: Livianos</p> <p>Fijación: conexión de la viga con el techo.</p>	<p>Techos: Livianos</p>

En la norma de Perú:

Se encontró que los techos deben ser livianos, distribuyendo su carga en la mayor cantidad posible de muros, evitando concentraciones de esfuerzos en los muros adecuadamente fijados a los muros a través de la viga solera.

Deben estar contruidos mediante entramados de madera, caña o fibras vegetales, o tijerales, o diseñados para resistir las cargas verticales y para transmitir las cargas horizontales a todos los muros, a través de las vigas collares superiores.

Se debe lograr que un techo plano actúe como un diafragma rígido añadiéndole elementos diagonales en el plano. Si el techo no es un diafragma rígido no se le puede considerar apoyo superior a los muros. Los techos pueden ser inclinados o a varias aguas.

En la norma de Marruecos:

El encadenamiento es obligatorio a nivel del techo y al nivel del piso. El encadenamiento puede ser de madera, concreto reforzado o cualquier otro material equivalente. El encadenamiento se anclará a las paredes y al techo.

En el reglamento de Estados Unidos:

La viga de enlace debe transferir cargas sísmicas entre la estructura del techo y el muro. Los anclajes entre la viga de unión y el muro deben estar separados no más de seis veces el grosor de la pared (riesgo sísmico medio), y no más de tres veces el grosor de la pared (riesgo sísmico alto)

En la norma de Turquía:

Los techos de las estructuras de adobe deben estar hechos con aleros de modo que los muros exteriores superen los 50 cm Los techos inclinados son beneficiosos para la vida y la seguridad de la propiedad, el mantenimiento y la vida útil del edificio.

En el caso de techos sobre estructuras de adobe, es viable que sean en madera inclinados, se sugiere sistemas de tijeras.

En el manual de Alemania:

Se especifica el encadenamiento de los muros, que deben estar coronados por una viga cadena o collarín, que transmita las fuerzas de flexión que ocurren por los impactos perpendiculares al muro. Estos pueden actuar también como soporte de la estructura de la cubierta. Es importante un buen arriostamiento entre el encadenado y el muro de tierra.

En muros de tapial, durante el apisonado se pueden colocar dentro del mismo piezas de madera sostenidas por alambres de púas que posteriormente se fijarán con el encadenado. Una mejor solución es mediante elementos de madera o de bambú colocados dentro del muro, anclados en el sobrecimiento y fijados al encadenado.

En muros de adobe, no es sencillo obtener un arriostramiento suficiente entre el encadenado y la mampostería de adobe. Cuando se ejecuta un encadenado de concreto armado, en la última hilada de adobes las juntas verticales deben dejarse libres para ser rellenadas con la mezcla de concreto obteniendo así una buena traba.

Si los encadenados actúan también como vigas soleras de la cubierta, estos deben descansar sobre el eje del muro. Si la solera es angosta, es necesario ejecutar la última hilada del muro con ladrillo cocido para distribuir uniformemente la carga de esta en la sección del muro. Si la solera descansa directamente sobre los adobes se corre el riesgo que, durante el movimiento sísmico, la última hilada tienda a quebrarse debido a su poca resistencia a la flexión. Es necesario que los tijerales de la cubierta repartan su carga uniformemente sobre el encadenado. Por ello, se deben ejecutar entre estos elementos, cuñas de madera o de concreto.

La cubierta debe ejecutarse tan liviana como sea posible. Las cubiertas con tejas o ripias de piedra no son recomendables debido a su peso y al riesgo que estas caigan dentro de la vivienda. Para el diseño de viviendas sísmicas se recomiendan cubiertas a cuatro aguas.

Las cubiertas a dos aguas son construcciones sencillas, pero requieren tímpanos que no son recomendables debido a que pueden colapsar si no están bien diseñados.

Para espacios de menor luz, las cubiertas a un agua son más económicas, pero en este caso las vigas sobre las que descansan los tijerales requieren estar unidas formando un encadenado inclinado.

En el manual de Francia:

El techo: estructura y cobertura se comportan como un diafragma (rígido y flexible) que resiste a la flexión y el corte. Una vivienda en zona sísmica requiere de un techo ligero y que reparta su carga de manera homogénea sobre los muros. También es necesario que se consideren los aleros como parte de la protección del muro, ellos no deben ser menores de 50 cm ni mayores de 1m.

Las tejas de micro concreto aíslan mejor el ambiente interior del calor y el ruido de la lluvia, pero requiere de una estructura uniforme y mayor cantidad de cintas o correas. Para un metro cuadrado de techo es necesario 12.5 unidades de tejas.

En el manual de San Salvador:

El techo no debe ser muy pesado, se recomienda usar tipo de teja que se llama de micro cemento, por varios motivos: pesa menos que la teja común, es barata y ecológica. Quedan sujetas con un sistema sencillo.

El techo debe tener aleros de 75 cm o 1m. para proteger las paredes de lluvia. También se pueden usar láminas acanaladas o galvanizadas.

Aleros

Todas las estructuras deben cubrirse para tener un sistema hacia la reducción de daños y que, por salpicaduras de aguas lluvias al piso, no se generen daños a los muros; con este fin, los documentos establecen las características que deben tener estos aleros de la cubierta:

Tabla 0-21 Longitud de aleros

Perú	No menos de 1m. de voladizo, anclados y con peso suficiente para no ser levantados por el viento.
Marruecos	Son obligatorios, deben ser de madera, bambú o cualquier otro material impermeable, la longitud es de acuerdo con el clima, como sigue: Seco (hasta 150 mm. por año) 10cm Moderado (entre 150-400 mm. por año) 30cm Húmedo (>400mm por año) 40cm
Turquía	Aleros de mínimo 50 cm
Francia	No deben ser menores de 50cm ni mayores de 1m.
San Salvador	Aleros de 75cm o 1m. y uso de láminas acanaladas o galvanizadas

Drenaje

Para complementar las estructuras la norma de Perú especifica un sistema de drenaje, ya que, no es suficiente en muchos casos el acondicionamiento de aleros en cubierta, corredores y los sobrecimientos. Establece entonces un dren con material granular suelto tipo piedras y gravas con pendiente y colector inferior para evacuar el agua.

Refuerzos

En la norma de Perú los muros y contrafuertes deben tener refuerzos. Deben usarse refuerzos en ambas direcciones. El refuerzo horizontal coincide con los niveles inferior y superior de los vanos. El refuerzo de los muros debe fijarse desde la base del sobrecimiento hasta la viga collar.

En el reglamento de Estados Unidos el refuerzo extensible para muros de tierra o vigas de unión debe ser al menos lo suficientemente fuerte como para soportar el peso de un hombre adulto (100 kg (220 lb)) sin deformación excesiva; El refuerzo de mortero solo necesita ser la mitad de resistente (50 kg (110 lb)). Todos los refuerzos deben ser traslapados en los empalmes para mantener la continuidad de la resistencia.

Refuerzo vertical para control de grietas: En todos los casos, el refuerzo debe instalarse en las esquinas y aberturas principales y en ubicaciones intermedias para ese refuerzo vertical se debe conectar de cimentación a viga collar. El espaciamiento del refuerzo debe disminuirse cuando se tiene un mayor riesgo sísmico.

Refuerzo horizontal: puede ser una banda de malla horizontal externa atada a través del muro, o un refuerzo delgado colocado en juntas de mortero y asegurado a los

muros en las esquinas. El espacio de refuerzo debe disminuirse con un mayor riesgo sísmico, como se muestra en la Figura 9.

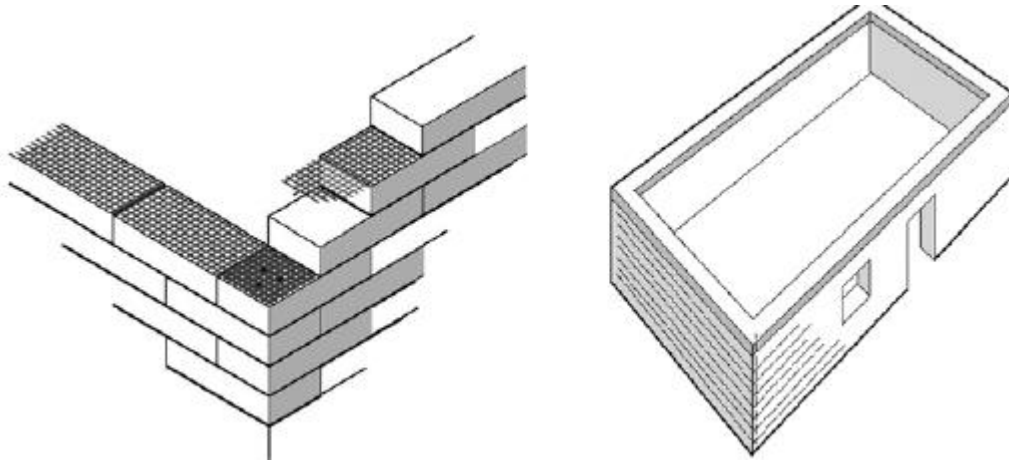


Figura 9 Refuerzo vertical para control de grietas. Fuente: (ASTM International, 2010)

Los contrafuertes exteriores deben construirse en esquinas y ubicaciones intermedias, con cubierta protectora desde el techo y soporte en los cimientos. Las pilastras pueden inclinarse, pero deben proyectarse desde la cara del muro a una distancia al menos tan grande como el grosor del muro. Alternativamente, la longitud no reforzada de un muro entre las paredes transversales interiores debe ser limitada. En cualquier caso, los elementos de arriostramiento deben ser de la misma construcción que el muro, anclados al muro, no deben estar separados más de 15 veces el espesor del muro (riesgo sísmico intermedio) y no más de 10 veces el espesor del muro (riesgo sísmico alto).

Conexiones

Las conexiones son un factor crítico en las estructuras por esto es importante resaltar en las construcciones en tierra, lo encontrado en las normas estudiadas de Perú y el manual de Alemania; por otra parte, es necesario aclarar que los puntos críticos en un sismo son las conexiones de los muros y la cimentación, y el muro al techo, por fuerzas horizontales.

La norma de Perú describe la conexión entre el muro y la cimentación, en donde se realiza uniando las mallas de refuerzo de los muros al sobrecimiento. Del mismo modo, en la conexión entre el muro y el techo, se amarran los muros y las vigas collares con las mallas de refuerzo de los muros y luego clavando o amarrando las vigas collares a las vigas principales o tijerales del techo, generando un elemento continuo.

En el manual de Alemania indican que las superficies de los cimientos y sobrecimientos no deben ser lisas sino más bien deben tener elementos de traba (piedras, cañas o elementos de madera) que logren una mejor unión; estos elementos deben situarse cada 30 a 50 cm

En el caso en el que una protección sobre el sobrecimiento contra la humedad ascendente (cartón asfáltico o plástico) sea necesaria, esta debilita la unión por ello los elementos verticales de traba son muy importantes.

En muros de adobe, es necesario utilizar un mortero con una buena capacidad aglutinante para la unión entre el sobrecimiento y la primera hilada de adobes.

Por otra parte, en la norma de Turquía indican unas franjas en el muro, así:

En muros de adobe, se deben hacer cuatro franjas en: parte inferior, parte superior e inferior de la ventana, techo o piso.

Las franjas deben ser de concreto o madera y deben estar dispuestas de manera que aseguren la conexión horizontal, no debe exceder 1.50 m.

Las franjas de madera: deben tener una sección de mínimo 10 cm x 10 cm en las zonas de terremotos y 5 cm x 10 cm en otras regiones, o sección circular con un diámetro de 8 cm

Aberturas de puertas y ventanas en las esquinas inferiores y superiores, sección transversal de hasta 60 cm y 5 cm x 10 cm con una distancia media de 50 cm La inserción de las esquinas debe estar entrelazada, la línea superior de la puerta no es continua, sino en forma de dintel.

Para realizar aberturas debe estar dispuesto de modo que sus extremos se ajusten al muro al menos 20 cm El fondo de ventana, puerta y las franjas superiores deben estar conectadas a los bordes de la cavidad con los postes de la misma sección transversal tanto dentro como fuera.

Franjas de concreto armado: deben tener una sección de 15 cm de altura, con acero de refuerzo mínimo de 4 ϕ 10 mm con flejes cada 25 cm en zonas amenaza sísmica alta y de 40 cm en zonas de amenaza sísmica baja.

Puertas y ventanas

Las aberturas en muros de puertas y ventanas son vulnerables ante eventos sísmicos, debido a que se crean grietas diagonales desde las esquinas y sobre los dintelas grietas horizontales; existen lineamientos para reducir los riesgos generados los vanos de las puertas y ventanas como se indica en la tabla 22.

La ubicación es importante para que junto al diseño arquitectónico se logren satisfacer los requerimientos básicos. Los dinteles requieren estar empotrados entre 40 y 60cm, para obtener una buena traba. Los anchos que se indican en las aberturas de puertas están en un intervalo entre 1.00 m y 1.40 m.

Y en ningún caso la abertura del muro debe ser mayor a 1/3 del área total.

Tabla 0-22 Abertura de puertas y ventanas.

Chile	Los vanos de ventanas y puertas se deben ubicar a una distancia no menor que tres veces el espesor del muro desde el borde libre más próximo
Marruecos	Deben ser preferiblemente pequeñas y centradas en los muros. La suma del área de todas las aberturas de un muro no puede ser mayor de 1/3 del área total del muro
Turquía	Las aberturas de las ventanas exteriores deben tener una longitud menor a 1.40 m y de 90cm de alto. El ancho de las puertas no debe superar 1,00 m y la altura no debe superar los 2,00 m. La distancia de los espacios en los muros a las esquinas exteriores del edificio es mínima de 0,60 m.
Alemania	Las siguientes reglas deben tenerse en cuenta para la ejecución de vanos: a) Los vanos para ventanas no deben tener una longitud mayor a 1.20 m, ni más de 1/3 de la longitud de la fachada. b) La longitud del muro entre los vanos y entre estos y el borde de los muros debe ser de mínimo 1/3 de la altura del muro, pero no menor a 1 m. c) Las puertas deben abrirse hacia afuera. Al lado opuesto de la puerta se recomienda ejecutar otra puerta o una ventana que pueda utilizarse como salida de emergencia.
San Salvador	Los dinteles de la obra se elaboran con adobes vaciados estabilizados, en el vaciado se colocan dos varillas de hierro de 3/8 y ganchos en forma de estribos, los que posteriormente se amarran con la solera de coronamiento. Se hace un lleno de concreto y se deja fraguar. Cuando están fraguados se colocan tomando en cuenta que deben quedar empotrados con un mínimo de 60cm en cada lado de los vanos de puertas y ventanas. Es de aclarar que el vano no debe ser superior de 1.20m; así como la distancia entre la esquina de la pared y el vano de la ventana no debe ser menor de 1.20m. Sobre los dinteles de ventanas y puertas se sigue levantando el muro, con una hilera de adobes y seguidamente la solera de coronación Las paredes no deben sobrepasar los 2.10m de alto como máximo.

Yesos

La durabilidad es una propiedad que tienen las construcciones en tierra, conservando los principios de mantenimiento, buen diseño, y reparación. Un material que contribuye a que esas estructuras tengan longevidad son los yesos y las cales que hacen parte del recubrimiento final de los muros.

En Turquía se especifica que, para aumentar la durabilidad de las estructuras, el material de tierra arcillosa puede contener una adición de yeso para reducir la permeabilidad del agua. Adicionalmente, el mortero puede ser elaborado con una parte de arena fina y suficiente arcilla o pelo de cabra y una parte de pasta de cal, para así obtener un yeso fino.

Incluso, dado que algunos morteros tienen poca adherencia al adobe, es posible adicionar cal y cemento para aumentar la adherencia.

Pañete y pintura

Los manuales de Alemania, Francia y San Salvador traen consigo pautas para la realización de pañetes y pinturas; como se mencionó anteriormente, estos contribuyen a la longevidad y durabilidad de las estructuras en tierra protegiéndolas de las incidencias del clima y el uso, además de darles un valor estético a las estructuras.

En el manual de Alemania los materiales que se utilizan son: barro, cal o barro estabilizado con cal, cemento o asfalto; además, se indica que no se debe aplicar nunca un pañete de cemento, debido a que este es frágil y quebradizo y tiende a crear fisuras por cargas térmicas y por impactos mecánicos.

Se pueden utilizar los siguientes pañetes:

Si se aplica un pañete de barro, es aconsejable estabilizar la superficie con una lechada de cal o cal-caseína.

Los muros de tapial no requieren pañetes, se puede alisar la superficie en estado húmedo con una plancha de madera o fieltro y aplicar posteriormente una pintura como protección contra la erosión de la lluvia.

Esta pintura debe ser de cal o cal-caseína y deben aplicarse tres capas. La primera muy aguada debido a que la solución debe penetrar en el muro 2 o 3 mm.

En el manual de Francia: las indicaciones para realizar un revestimiento son:

1. Preparación:

Limpiar el muro con el fin de eliminar elementos sueltos de tierra y arena, para garantizar la adherencia del pañete en el muro. Si se decide humedecer el muro, se deberá esperar un tiempo para que el muro pueda evaporar y absorber hacia el interior el agua.

2. La primera capa:

Sirve para nivelar las imperfecciones del muro y que este pueda recibir la capa de afinado. El espesor de esta capa será de 8mm a 20mm. El mortero debe tener las proporciones siguientes:

- 1 parte de tierra arcillosa (de espesor 5mm)
- 2 partes de arena (que pasen el tamiz de 5mm)
- 1/3 de paja cortada de 3cms de largo.

3. Incisiones

Inmediatamente después de colocada la primera capa, antes que seque, se realizan las “incisiones” con la ayuda de un cepillo de púas o clavos, esto mejora la adhesión de la segunda capa con la primera.

4. La segunda capa “el afinado”.

Una capa delgada de sello o protección y que da la calidad estética se realiza cuando la primera capa está completamente seca. El espesor es de 1 a 2mm. El mortero en proporciones aproximadas será de:

1 de tierra (que pase por la malla de 2mm)
3 o 4 de arena fina.

Es importante cuando se decide realizar el pañete que siempre se hagan pruebas de la mezcla, cambiando de proporciones hasta llegar a la mezcla adecuada que no se fisure y sea resistente.

5. Sellado.

Se realiza con una esponja haciendo movimientos circulares y luego se espera de 15 a 20 minutos para proceder a pasar la brocha seca haciendo movimientos rectos, el objetivo es de sellar la superficie.

Alternativas: existen otras alternativas o combinaciones.

cal y arena,
cal, arena, tierra,
yeso y arena,
yeso, cal y arena

El manual de San Salvador, presenta indicaciones para realizar un revestimiento:

La primera capa de pañete se hace al estar terminadas y bien secos los muros, para hacer el pañete se utiliza tierra con la misma medida para hacer los ladrillos de adobe.

El proceso es el siguiente:

Los muros deben estar secos para construir el pañete sobre estos.

La tierra se tamiza en zarandas con mallas de 6 mm.

Se raspa toda la superficie en diferentes direcciones para generar una superficie rugosa y de fácil agarre.

Se limpia con una escoba el material sobrante.

Se humedece cada tramo del muro que se va a pañetar, no debe quedar chorreada de agua.

Se hace la primera capa de pañete casi líquida para emparejar el muro, luego se hacen hoyitos en toda la superficie de las paredes, se puede emplear un cepillo de púas de

hierro o una tabla con muchos clavos. Esto se hace para que se adhiera la segunda capa de pañete.

Después se realiza otra capa de pañete con cal hidratada, la cal antes de usarse debe ponerse en agua durante 15 días. Y finalmente, se deja secar durante un periodo de tiempo de 8 a 10 días.

2.3. FILOSOFÍAS DE DISEÑO Y MÉTODOS DE ANÁLISIS

Las metodologías de análisis de los muros en las normas analizadas que contienen este referente tienen en común el comportamiento elástico de los materiales que componen las construcciones en tierra. Marruecos y Nueva Zelanda adoptan un diseño de estados límites, mientras que Perú y Chile arrojan un diseño elástico por la metodología de esfuerzos admisibles.

Las normas determinan una fuerza sísmica dependiendo del tipo de suelo en el que se encuentre la estructura, con el cortante basal, la resistencia de los muros a corte, flexión, fuerza axial y combinaciones. Además, algunas especifican los modos de falla considerados para el análisis de los muros.

2.3.1. Comparación de métodos de análisis de las normas y reglamentos

Análisis

Las normas establecen los parámetros para análisis de la siguiente manera:

Perú: se basa en el comportamiento elástico del material.

Chile: se basa en un método elástico, si la estructura es estable en su conjunto y no presenta grietas y desacoples severos.

Marruecos: el análisis sísmico de las construcciones de tierra es elástico lineal, garantizando la ductilidad, calidad de los materiales, disposiciones constructivas y la calidad de la implementación.

Nueva Zelanda: utiliza una metodología de diseño elástico con detalle para garantizar la ductilidad, sabiendo que la respuesta será inelástica; toda la resistencia al corte de la pared será suministrada por el refuerzo a corte.

Fuerza Sísmica

Es necesario tener en cuenta la amenaza sísmica propia de cada región donde se localice la estructura en tierra, además de la importancia de la edificación dependiendo del uso. A continuación, se describe el cálculo de las fuerzas sísmicas en cada norma:

Perú: El cortante sísmico se calcula como el cortante del método de la Fuerza Horizontal Equivalente y está determinado por coeficientes de factor del suelo (S), factor de uso (U), coeficiente sísmico (C) y peso total de la edificación (P). Esta forma de calcular el cortante se repite en las demás normas consultadas.

Aquí se considera un porcentaje de la carga viva en la masa de la edificación, como se muestra:

$$CM + 0,5CV (P)$$
$$H = S.U.C.P$$

Chile: El cortante en la base Q_0 se debe calcular mediante

$$Q_0 = k_1 * k_2 * k_3 * C * P$$

C = coeficiente de demanda sísmica; P = peso sísmico del elemento a verificar; k_1 = factor de modificación por desempeño previo; k_2 = factor de modificación por categoría de ocupación; k_3 = factor de modificación por clasificación del tipo de suelo. Considera $C = 0,1$ demanda base de diseño para las estructuras en tierra cruda. Los factores de modificación k_1 y k_2 dependen del coeficiente de demanda.

Marruecos: La fuerza sísmica lateral resultante en la base de la construcción de la tierra, V, se calculará utilizando la siguiente expresión:

$$V = SICW;$$

Con:

S: el coeficiente del sitio; I: el coeficiente de importancia; C: coeficiente sísmico; W: el peso de la estructura.

Nueva Zelanda: El cortante sísmico se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$V = C W_t$$
$$C = C_h(T_1, \mu) S_p R Z L_u$$

En donde:

μ : factor de ductilidad estructural, será: 2.0 para tierra reforzada de ductilidad limitada 1.25 muros con ductilidad limitada en mampostería CINVA; 1.0 para muros no reforzados y muros reforzados que no responden elásticamente.

S_p : se toma igual a 0.67

R: es el **factor** de riesgo dependiendo de la categoría de uso.

Z: factor de la zona, depende del lugar geográfico en el que se ubique la estructura.

$C_h(T_1, \mu)$: Coeficiente básico de aceleración del riesgo sísmico que tiene en cuenta las diferentes condiciones del suelo, factores de ductilidad estructural μ , y los periodos de vibración T.

W_t : peso de la estructura.

Diseño de muros

Para la norma de Perú que se basa en esfuerzos admisibles, el diseño de muros a corte y flexión se lleva a cabo de la siguiente manera:

Calculadas las áreas tributarias en cada muro y las fuerzas horizontales de diseño, los esfuerzos resultantes no deben sobrepasar los esfuerzos admisibles de corte en los muros. La dirección de estos últimos debe ser perpendicular a su plano; de acuerdo con el número de apoyos de cada muro -función de los arriostres verticales-, se calcula el esfuerzo de flexión del muro producido por fuerzas sísmicas perpendiculares a su plano considerando el comportamiento elástico del material tierra. Estos esfuerzos no deben sobrepasar los esfuerzos admisibles a tracción por flexión.

Las normas de Marruecos y Nueva Zelanda se basan en estados límites y cuentan con unos coeficientes de reducción de capacidad como se indica en la tabla 23:

Tabla 0-23 Factores de reducción de capacidad o de seguridad

Coeficientes de reducción	Marruecos	Nueva Zelanda
φ Compresión simple	0.6	0.6
φ flexión	0.8	0.8
φ Corte	0.7	0.7
φ Cálculo sísmico	1.0	
φ Conexiones metálicas embebidas en tierra		0.7

Bajo estos parámetros, los procedimientos de las normas de Marruecos y Nueva Zelanda son:

Marruecos

En esta norma la distribución de la fuerza sísmica horizontal a nivel de piso depende de si el diafragma puede o no considerarse rígido. Si se considera flexible, la distribución será por áreas tributarias, si es rígido será contemplando el centro de masa, el centro torsional y la torsión accidental.

El criterio de resistencia a fuerza axial es:

$$N \leq k \phi N_u$$

$N_u = f_c \cdot A_m$: resistencia a la fuerza normal, independientemente del efecto de esbeltez

K: factor de reducción según esbeltez y excentricidad.

f_c : resistencia a la compresión de muros de tierra

A_m : sección del muro de tierra

Los modos de falla considerados son:

- a) Fractura por deslizamiento
- b) Fractura por flexión
- c) Falla de corte

Para hallar la resistencia al corte de muros en tierra se necesitan:

Los criterios de resistencia al corte de los muros sometidos a fuerzas horizontales contemplan dos condiciones, así:

$$V \leq \phi (f_{es} A_m + K_v \cdot \sigma_{min} A_m)$$

$$V^* \leq 5\phi f_{es} A_b$$

f es: Resistencia al corte de mampostería.

σ_{min} : Esfuerzo a compresión debido a la fuerza normal mínima concomitante.

A_m : sección fuerte del muro.

ϕ : Coeficiente de reducción de resistencia.

El factor de corte (k_v) viene dado por:

Caso de un dispositivo que debilita la fricción de Coulomb en las juntas horizontales de la mampostería. $k_v = 0$

Caso de mortero para juntas horizontales $k_v = 0.30$

La resistencia a la flexión de los muros es:

El momento máximo de flexión horizontal (M_u) de las acciones transversales deberá satisfacer la siguiente relación:

$$M_u \leq M_{rh}$$

donde

$M_{rh} = 0.40 \phi f_y Z_u$ para un muro de adobe.

$M_{rh} = \phi f_y Z_u$ para un muro en tapia pisada o un muro.

Z_u : Módulo lateral de la sección bruta del muro.

f_y : resistencia a la tracción por flexión

ϕ : Coeficiente de reducción de resistencia.

Nueva Zelanda

La resistencia de diseño de un miembro o sección transversal debe ser igual o mayor que la acción aplicada, S^* , resultante de las cargas de diseño.

Como criterio de dimensionamiento se tiene que el espesor mínimo en la dirección horizontal, donde los muros no están apoyados o unidas las particiones u otras construcciones que puedan dañarse debido a grandes desviaciones, no deberá ser inferior a los siguientes valores en función de las condiciones de apoyo:

Simplemente apoyado $h/18$ o $L/18$

Un extremo continuo $h/21$ o $L/21$

Ambos extremos continuos $h/22$ o $L/22$

Voladizo $h/8$ o $L/8$

Las desviaciones calculadas para el diseño sísmico bajo respuesta elástica se limitarán a $h/150$.

Flexión y compresión uniaxiales en miembros simétricos uniformes en tierra no reforzada, un miembro deberá estar diseñado de tal manera que se satisfaga la siguiente relación:

$$N^* \leq k\phi N_o \quad \text{dónde} \quad N_o = f_e A_b$$

Donde:

N^* : carga axial de diseño

K_b : factor de reducción por esbeltez y excentricidad.

N_o : fuerza nominal a compresión de una sección transversal de tierra.

f_e : resistencia a la compresión de muros de tierra.

A_b : área de la sección trasversal del muro de tierra

Flexión horizontal con esfuerzos de tensión: la resistencia frente a esta sollicitación, M_{dh}^* se calcula a partir de:

$$M_{dh}^* \leq Mch$$

Dónde

$Mch = 0.40 \phi f_e t Z_u$ para muros de adobe de tierra, o

$Mch = \phi f_e t Z_u$ para muros de tierra apisonada.

Resistencia al corte: los muros de tierra no reforzada sometidos a fuerzas cortantes, con o sin fuerza de compresión que actúan a través del plano, deben satisfacer las expresiones:

$$V \leq \phi (f_{es} A_b + K_v \cdot f_d A_b)$$
$$V^* \leq 5\phi f_{es} A_b$$

f es: Resistencia al corte de la tierra.

A_b : Área de la sección transversal del muro.

f_d : compresión sobre la sección bajo la carga de diseño.

ϕ : Coeficiente de reducción de resistencia.

El valor de k_v , será:

a) En cursos a prueba de humedad tipo membrana, tapajuntas y ubicaciones similares con baja resistencia a la fricción: k_v

$k_v = 0,30$.

2.4. RECOMENDACIONES DE REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD

De la revisión bibliográfica de las normas y reglamentos de estructuras en tierra, se encontraron en la norma de Marruecos detalles de comportamiento de los muros por efectos del sismo y la evaluación de daños; en el manual de Alemania se indican factores importantes a tener en cuenta en viviendas nuevas para brindar seguridad a los ocupantes, mencionan errores de construcción y medidas de seguridad.

2.4.1. Marruecos

En la norma de Marruecos se encontró una buena descripción del comportamiento sísmico y las fallas esperadas en edificaciones en tierra, se ofrece una traducción libre en el Apéndice 1 de la página 87 a la 92, que muestra para fácil identificación: daños sísmicos, principales daños sísmicos, comportamiento sobre plano de muros, grietas y derrumbes de un muro, grieta horizontal a media altura del muro, comportamiento de daño en el plano del muro, daño en la esquina, daño a las aberturas del muro, pérdida de contacto entre un muro y el piso o techo, daños a nivel de conexión, daño a los enlaces de unión entre el muro y el techo, daños por humedad y otros factores de daño.

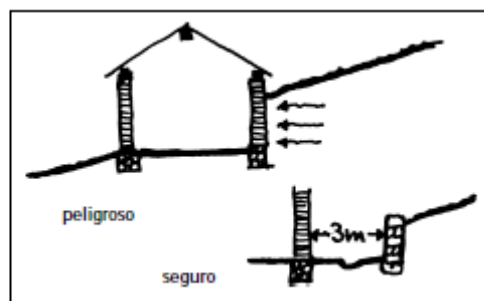
2.4.2. Alemania

Al ser un manual, contempla parámetros físicos básicos a tener en cuenta al momento de construir una vivienda nueva en tierra y reducir considerablemente la vulnerabilidad.

Ubicación de una vivienda en pendiente

En donde haya sismicidad alta y media, se deben seguir parámetros de la ubicación de la vivienda, así:

- Debido a que los impactos horizontales de la tierra durante el sismo pueden provocar el colapso del muro adyacente, no se deben ubicar en el corte de la pendiente.



2-1

Figura 10 Ubicación correcta de vivienda (Minke, Manual de Construcción en Tierra, 2005)

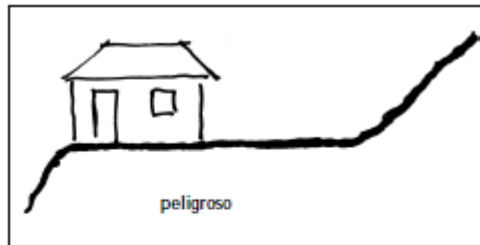
- No se debe ubicar sobre una pendiente, para evitar el deslizamiento de la edificación.



2-2

Figura 11 Ubicación peligrosa en pendiente de vivienda. (Minke, Manual de Construcción en Tierra, 2005)

- c) Para evitar daños por deslizamientos del terreno, se recomienda no ubicarla cerca a laderas.



2-3



2-4

Figura 12 Ubicación de vivienda para evitar deslizamientos (Minke, Lehmbau-Handbuch Manual de Construcción en Tierra, 2005)

- d) Si se ubica la vivienda en un terreno en pendiente se deben realizar los cortes del terreno para generar un área segura de fundación.



2-5

Figura 13 Ubicación de vivienda con corte en terreno (Minke, Manual de Construcción en Tierra, 2005)

- e) Se recomienda que las viviendas masivas y pesadas se ubiquen en terrenos suaves y arenosos; las viviendas livianas y flexibles como las de bahareque, se pueden ubicar sobre terreno rocoso

f) Es recomendable evitar desniveles en la vivienda, si son necesarios deben estar separados a una distancia de por lo menos 1 m.

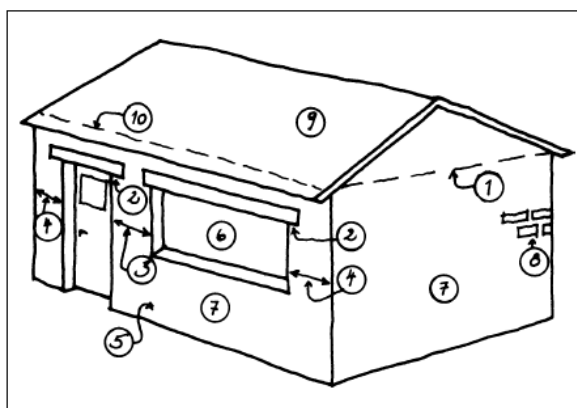
Forma de la planta

Para contribuir con la estabilidad de la vivienda, entre más compacta la planta, la estructura se hace más estable, por eso las plantas cuadradas, rectangulares y circulares son las más adecuadas. De necesitarse ángulos en la planta –a nivel de arquitectura-, es de sugerir que se hagan separados los espacios.

Errores de construcción

A continuación, se listan los errores de construcción más comunes de acuerdo con el Manual de Construcción en tierra (2005), que están referidos en la Figura 14.

1. Ausencia de un refuerzo horizontal (encadenado, collarín o viga cadena)
2. Los dinteles no penetran suficientemente en la mampostería.
3. El ancho de muro entre los vanos de la ventana y la puerta es demasiado angosto.
4. El ancho entre los vanos de la ventana y la puerta en relación a las esquinas es demasiado angosto.
5. Ausencia de un sobrecimiento (zócalo)
6. El vano de la ventana es demasiado ancho.
7. El muro es muy largo y delgado sin tener elementos de estabilización
8. La calidad de la mezcla del mortero es pobre (con una baja capacidad aglutinante), las uniones verticales no están completamente rellenas, las uniones horizontales son demasiado gruesas (más de 1,5 cm)
9. La cubierta es demasiado pesada.
10. La cubierta tiene un arriostramiento débil con el muro.



4-7 Errores estructurales que provocan riesgos de derrumbe durante un sismo

Figura 14 Errores de construcción en las viviendas (Minke, Manual de Construcción en Tierra, 2005)

2.5. TECNICAS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL

Para el reforzamiento de estructuras se encontró que en la mayoría de los países lo realizan con fibras sintéticas y maderas; sin embargo, hay técnicas específicas comunes como la necesidad de garantizar una conexión desde la cimentación hasta la viga de coronación o viga de encadenamiento para realizar un amarre completo, como lo citan en algunos documentos.

Las normas de Perú, Chile, Marruecos y Nueva Zelanda contemplan el reforzamiento estructural, en donde el principal enfoque es el aumento de ductilidad de las estructuras, hacen énfasis en la continuidad de los materiales que se utilizan de refuerzo, en que deben tener un encadenamiento y estar posicionados desde el nivel de cimentación hasta vigas de coronación.

Materiales empleados para el reforzamiento:

Tabla 0-24 Materiales empleados en el reforzamiento según las normas

Perú	Chile	Marruecos	Nueva Zelanda
Refuerzo vegetal Caña carrizo (hueca) Caña brava (solidad) Madera rolliza o aserrada Ramas trenzadas de fibra vegetal Soga de cabuya	Geomalla de polipropileno Malla de acero electrosoldada Madera Adobes de mampostería	Contrafuertes, concreto con sujetadores horizontales, columnas en mampostería de ladrillo.	Geomalla biaxial de polipropileno, Acero, tela de alambre soldada con cables cortados en forma de escalera.
Mallas sintéticas Geomallas Sogas sintéticas Driza blanca o similar	Tensores de acero o sintéticos Cables o bandas de acero	Mallas con resistencia similar al acero galvanizado. Madera. Rejilla metálica.	

Se debe puntualizar que, Chile establece las soluciones estructurales de reforzamiento tienen que ser compatibles con el material tierra, y que son incompatibles aquellas cuya rigidez sea mayor a 10 veces la de la estructura base. Los refuerzos pueden hacerse de la siguiente manera:

- Contrafuertes de adobe.
- Conectores de acero para maderas.
- Estructuras de madera.
- Tensores de acero o sintéticos en estructuras de madera.
- Cables, bandas de acero o materiales sintéticos en estructuras de madera.
- Mallas poliméricas elaboradas.
- Mallas electrosoldadas de acero.

La norma de Perú contempla: refuerzos tipo vegetal, mallas sintéticas de nudos, sogas sintéticas, como se cita a continuación:

Refuerzo de tipo vegetal: Caña carriza o caña brava, madera rolliza o acerrada, ramas trenzadas de fibra vegetal, con diámetros iguales o mayores de 25mm, además de sogas de cabuya, sisal o fibras naturales.

Refuerzo de mallas sintéticas de nudos integrados, geomallas: que conformen una retícula con abertura máxima de 50mm y nudos integrados, con capacidad a tracción de 3.5kN/m en ambas direcciones y elongación de 2%; conectando ambas caras del muro con cuerdas sintéticas, separados máximo 0.30m.

Refuerzo con sogas sintéticas: con diámetros iguales o mayores de 3.97mm, y la de unión entre muros diámetro mínimo de 3.17mm; separaciones entre sogas horizontales menor a 0.40m tercio inferior; 0.30m tercio central y 0.20m tercio superior del muro.

En la norma de Marruecos se establece que dependiendo de la esbeltez del muro sugieren realizar el refuerzo. Los refuerzos expuestos son los siguientes:

Refuerzos verticales: contrafuerte, refuerzo lateral en concreto con sujetadores horizontales, columna hecha de mampostería de ladrillos de concreto o piedras cortadas; refuerzo en malla con resistencia similar al acero galvanizado

Refuerzo horizontal: refuerzos de madera cada 4 hiladas de adobe, refuerzos en concreto reforzado similar a la mampostería convencional (adobe y tapia); refuerzo lateral por rejilla, metal o plástico para confinar el muro de tierra en sus caras e interconectadas por alambres galvanizados. Refuerzos en aberturas a lo largo de soportes de madera o concreto de piso a techo en zonas de amenaza sísmica alta

Nueva Zelanda, se enfoca en el diseño de tierra reforzada, en donde contempla el diseño del refuerzo en construcciones en tierra que está dominado por el diseño a cortante; sin embargo, cuando los miembros están sometidos a flexión combinada y carga axial se debe considerar la combinación crítica más alta. Lo que pretende es que con el material que se emplee se mejore la ductilidad del muro, se especifica acero para el refuerzo siguiendo los detalles de anclaje y desarrollo de éstos; además, contempla celosías de armadura con alambres de acero dulce. Adicionalmente, indican geomalla de polipropileno que se utilizan como refuerzo al corte y deben ser ancladas al refuerzo vertical.

2.6. OBRAS PATRIMONIALES DE CONSTRUCCIONES EN TIERRA

Pensando en el enfoque del documento AIS 610-EP-17, orientado a estructuras patrimoniales de uno y dos pisos, se encontró en la norma de Perú y Chile información relativa, que se describe a continuación:

2.6.1. Perú

En las obras patrimoniales se debe garantizar la vida de los ocupantes y proteger los bienes culturales existentes en su interior; de ser necesario un aumento de durabilidad de la construcción tradicional aplicando tecnología moderna y diseños basados en desempeño, utilizando refuerzos compatibles y reversibles para preservar los materiales originales según las condiciones climáticas y que no perjudiquen el material original durante la ocurrencia de sismo.

En necesario, conservar la documentación técnica para facilitar el acceso al archivo sobre los trabajos de intervención realizados.

2.6.2. Chile

Las intervenciones en una construcción patrimonial de tierra se deben realizar de manera que se cumplan todos los requisitos necesarios para garantizar la seguridad estructural, la integridad patrimonial y la seguridad de sus ocupantes.

La norma orienta los proyectos a que resistan con daños menores los movimientos sísmicos de intensidad leve y limiten los daños en elementos no estructurales durante sismos de mediana intensidad y aunque presenten daños, eviten el colapso global de la estructura durante sismos de intensidad severa.

Criterio estructural

Mantener, restituir o aumentar la capacidad estructural, resistiendo las fuerzas de diseño estático y sísmico. Criterios basados en el desempeño estructural durante los sismos, cuyo objetivo es controlar los desplazamientos de la estructura agrietada, evitando el colapso de los elementos, con base en refuerzos de mínima intervención, compatibles y reversibles.

Criterios patrimoniales: evaluación caso a caso, compatibilidad de materiales y reversibilidad.

Levantamiento estructural

Sugiere realizar un levantamiento crítico del estado de la construcción y de su entorno con el objetivo de identificar daños; levantamiento geométrico: para reflejar en detalle el estado de situación de la construcción; levantamiento de materiales existentes: identificación y caracterización de los materiales relevantes de la

estructura del inmueble; levantamiento de daños y agentes de deterioro: exhaustiva descripción de los principales daños y patologías de construcción y el estado de conservación de la estructura; y realizar las pruebas de campo: para determinar las características químicas y mecánicas de los materiales para realizar el análisis.

Diagnóstico del estado de la conservación de la construcción patrimonial.

El informe diagnóstico debe contener: historial constructivo: se deben estudiar los registros históricos y/o arqueológicos que permitan comprender los diferentes cambios y transformaciones. La información histórica relacionada con el inmueble como su data de construcción, modificaciones realizadas, y evolución en el tiempo, materiales, distintos usos, cambios de uso. Y un levantamiento crítico de la construcción patrimonial, origen y causa de los daños observados, condiciones de la estructura y sus respectivos riesgos.

Mantenimiento

Actividades preventivas: revisiones y acciones que se deben realizar periódicamente para asegurar el estado de conservación de la estructura del inmueble antes que esta presente algún daño.

Actividades correctivas por realizar: definición de revisiones y acciones que se deben realizar periódicamente para asegurar el estado de conservación de la estructura del inmueble, luego que está presente algún daño leve.

Actividades periódicas: definición de la frecuencia con que se debe realizar las acciones solicitadas.

Capítulo 3: Aspectos identificados como aporte a la actualización o generación de documentos normativos en Colombia

En este capítulo se presentan los principales aspectos que podrían servir de base para una revisión del documento AIS 610-EP-17, de acuerdo con los seis criterios estudiados. También, los aspectos que podrían considerarse para un documento orientado a construcciones nuevas en tierra.

3.1. Características de los materiales

En el capítulo 4 del documento AIS 610-EP-17 se encuentran las recomendaciones de ensayos sobre los materiales. A ese respecto se encontró que:

1. Establecen un número mínimo de ensayos, aspecto que no se encuentra en los documentos estudiados. Este requerimiento es una ventaja del documento y una guía importante para el reforzamiento de cualquier estructura.
2. Las pruebas que indica el documento AIS 610-EP-17 para la caracterización de los materiales coinciden con las de los documentos estudiados: granulometría, peso específico, determinación de humedad, cenizas y materia orgánica, contenido de humedad y límites e índice de plasticidad.
3. Así mismo, en los documentos estudiados existen pruebas adicionales para estructuras nuevas, como:
 - a. Determinación del valor del azul de metileno, en la norma de Marruecos, con valores para definir los materiales más adecuados para tierra apisonado, véase la Tabla 10.
 - b. Determinación del contenido de sulfatos, cloruros y materia orgánica, en la norma de Marruecos, para el estudio de la composición química, si se utiliza la técnica de estabilización de cal o cemento.
4. Por otra parte, se identifican pruebas en campo que podrían ser parte de un documento tipo manual de construcción para vivienda rural, en donde no sea fácil el acceso a laboratorios para realizar la prueba de selección de materiales, como se enuncian a continuación:
 - a. Prueba de cinta de barro.
 - b. Prueba del cigarrillo.
 - c. Prueba de presencia de arcilla o resistencia seca, prueba de la pastilla.
 - d. Prueba de control de fisuración.
 - e. Prueba de erosión.
 - f. Caracterización por manipulación: olor, vista, tacto.
 - g. Prueba de la botella.

Además, se encontraron criterios de aceptación de materiales para la construcción en tierra, en términos de granulometría, dosificación y características físicas, que son útiles para construcciones nuevas, véase la tabla 3.

5. En cuanto a las propiedades mecánicas establecidas en el documento AIS610-EP-17, se encontraron diferencias en los valores mínimos establecidos para la resistencia a compresión, $f'm$ y el módulo de elasticidad, E. A continuación, se muestran las tablas con las propiedades mecánicas de los materiales y las resistencias mínimas especificadas del documento AIS 610-EP-17 y se enuncian las diferencias encontradas:

Tabla 0-1 Rangos de propiedades mecánicas, tomada de tabla 4.3.4-1 (AIS600, 2017)

Propiedad	Valor mínimo	Valor máximo
γ para adobe (kN/m^3)	15	19
γ para tapia pisada (kN/m^3)	19	20
E para adobe (MPa)	70	200
E para tapia pisada (MPa) □	70	110
G para adobe (MPa)	20	45
G para tapia pisada (MPa)	20	45

Tabla 0-2 Resistencia de muros en tierra sin reforzamiento, tomada de tabla 6.3.1-1 (AIS600, 2017)

Propiedad	Unidad	Adobe	Tapia Pisada
$f'm$	MPa	0.80	0.50
Fv	MPa	0.0019	0.0024
Fr	MPa	0.04	0.06

La resistencia a la compresión: en el documento AIS 610-EP-17 se establece: 0.8MPa para adobe y 0.5MPa para Tapia. Los documentos estudiados establecen resistencias mayores, dentro de un rango de 1.0MPa y 1.2MPa para Adobe, y 0.5MPa para la Tapia, como se encuentra en la tabla 12.

Se presenta una diferencia en la resistencia a compresión especificada de los muros de adobe $f'm$ entre las normas estudiadas que se encuentra en el intervalo de 1.0MPa-1.2MPa y la que indica el documento AIS610 que es 0.8MPa. Sin embargo, los valores establecidos en el documento son el resultado de un gran número de ensayos en el medio colombiano con la norma NTC 3495 (Rivera & Muñoz, 2004). Por esta razón, se considera que no es necesario revisar este aspecto.

El documento AIS610 indica el uso de normas para mampostería de arcilla o concreto para hallar el $f'm$, mientras que las normas de Perú y Chile establecen sus propias especificaciones pensadas para elementos de tierra, así:

- i. Muretes en Perú: altura igual a tres veces la dimensión menor de la base, después de 28 días de secado en 6 muestra, 0.6MPa.

- ii. Muretes en Chile: la resistencia última a compresión de pilas de albañilería es de 0.6MPa.

Adicionalmente se encuentran en las normas de Perú, Marruecos y Nueva Zelanda ensayos para determinar la resistencia de muros a tracción por flexión de especímenes, que pueden ser evaluados para un documento de ensayos para estructuras nuevas, en donde especifican lo siguiente:

- i. Ensayos de muros a tracción por flexión, tienen una resistencia de 0.14MPa.
- ii. La norma de Marruecos y Nueva Zelanda, citan que si hay ausencia de resultados de resistencia a tracción a la flexión se toma $0.1f_c$, además de una resistencia a tensión por flexión $f_{et} = 0.1MPa$, y se puede tomar como $0.10f_e$ para materiales de construcción en tierra con una resistencia a compresión menor a 6 MPa.

De igual forma, en los documentos estudiados se encontraron parámetros de resistencia al corte para elementos tipo muretes, como se muestra en la tabla 15, sin ensayos de la siguiente manera:

- i. Resistencia a la tracción indirecta del murete en Perú, Chile y Marruecos para el adobe es 0.025MPa.
 - ii. Resistencia al corte de murete de adobe en Marruecos de 0.025MPa o 0.4ft.
 - iii. Resistencia al corte en Tapia Pisada $F_{es} = 0.08MPa$, o $F_s = 0.07F_c$ en la norma de Marruecos.
 - iv. La Resistencia al corte, será el mayor de: $f_{es} = 0,07f_e$ o $f_{es} = (70 + 5h) < kPa$, en la norma de Nueva Zelanda.
6. El módulo de elasticidad indicado en la tabla 4.3.4-1 es de $E = 70MPa$ mínimo y máximo $E = 200MPa$, también en el artículo 5.5.1 se indica $E = 70MPa$ para los índices de flexibilidad de la estructura actual del documento AIS610-EP-17, el módulo de elasticidad está del lado de la seguridad, limitando los niveles de daños aceptables, siendo este para edificaciones patrimoniales; en las normas de Chile y Perú indican un módulo de elasticidad de 200MPa.

3.2. Sistemas estructurales

El documento AIS610-EP-17 indica un procedimiento de calificación a la estructura de manera cualitativa y cuantitativa, desde su sistema de cimentación, la calidad de la construcción y el estado de mantenimiento y conservación; todo esto, en concordancia con los requisitos del Capítulo A.10 del Reglamento NSR-10. En las normas de Perú y Chile se encuentra esto como un parámetro de información, mas no de evaluación.

El sistema estructural de los muros en tierra de Adobe y Tapia Pisada es: muros portantes; en los documentos estudiados, como se presenta en el artículo 2.2.1, se encuentran características de construcción útiles para construcciones en tierra nuevas, que pueden considerarse para realizar una guía de autoconstrucción.

3.3. Filosofías de diseño y métodos de análisis.

El documento AIS610 –EP -17 contempla como filosofía de diseño estados límites, de igual manera se presenta en las normas de Marruecos y Nueva Zelanda para disminuir las probabilidades de falla.

Por el contrario, la filosofía de diseño de la norma de Perú es de esfuerzos admisibles, y emplean factores de seguridad de 2.5 y 3 cuando no se realizan ensayos.

En el documento AIS610-EP-17 se realiza de forma completa el análisis por estados límites y diseño de reforzamiento de las estructuras en tierra, con la evaluación de resistencia a compresión, resistencia a flexión con respecto al eje horizontal y el eje vertical, resistencia de elementos diferentes a muros y machones.

Además, se identificaron y compararon los coeficientes de reducción del documento AIS610-EP-17, con las normas de Marruecos y Nueva Zelanda, véase tabla 23:

Factor de seguridad	Marruecos	Nueva Zelanda	AIS610-EP-17 Col.
φ Compresión simple	0.6	0.6	0.75
φ flexión	0.8	0.8	0.8
φ Corte	0.7	0.7	0.75
φ Conexiones metálicas embebidas en tierra		0.7	
φ Flexión fuera del plano del muro no reforzado		0.6	0.8

En cuanto a los coeficientes de compresión y corte son mayores en el documento AIS610 – EP -17, comparado con la norma de Marruecos y Nueva Zelanda, debido a que estos coeficientes de reducción del documento AIS tienen en cuenta los valores recomendados de las capacidades de los elementos estimados de manera conservadora, y la formulación para hallar las resistencias de compresión y corte cuentan con parámetros de reducción en su formulación.

3.4. Recomendaciones de reducción de vulnerabilidad

En el capítulo 7 del documento AIS610- EP -17, se encuentran unos requisitos mínimos que son necesarios para reducir la vulnerabilidad de una estructura; sumándose a esto, el capítulo 9 con la evaluación de daños, actividades previas a la reparación y al

reforzamiento. Estos dos capítulos presentan un enfoque y una síntesis de cómo reducir la vulnerabilidad de una estructura en tierra.

En la revisión bibliográfica, la norma de Marruecos cita comportamientos de los muros por efectos del sismo y cómo reducir la vulnerabilidad y el manual de Alemania recomendaciones que pueden ser aprovechables para construcciones en tierra nuevas, como se indica en el numeral 2.5.

3.5. Técnicas de reforzamiento estructural

Los materiales que emplean para reforzar las estructuras en tierra son: fibras sintéticas, maderas, caña carrizo y caña brava, drizas, cables, mallas poliméricas, malla de acero electrosoldada, alambres en forma de escalera, contrafuertes, para aumentar la ductilidad, rigidez y resistencia. Las conexiones deben ser desde la cimentación hasta la viga de coronación o encadenamiento, como se indica en el numeral 2.5.2.

Las soluciones que se planteen con los reforzamientos deben ser compatibles con el material tierra, las que tengan una rigidez 10 veces mayor a la de la estructura base no son compatibles, de acuerdo con la norma de Chile.

Las alternativas de reforzamiento estructural que plantea el documento AIS610 –EP -17 son: entramados de madera, plástico o similar, tensores internos o externos, tensores verticales y anillos de zunchos y mallas de acero o sintéticas.

En el reforzamiento horizontal de entramados de madera, acero, plástico o similar, se encuentra que los muros trabajan en acción compuesta parcial de tierra y madera, limitando las deformaciones. Incluyen el anclaje de los pernos con requisitos generales como: distancias, disposiciones, uniones, separaciones entre ejes, detalles de intersección, recomendaciones de regatas, recubrimientos, entre otros.

Lo encontrado en las normas estudiadas presentan las siguientes especificaciones:

- i. Para estructuras nuevas de adobe con lo encontrado en la norma de Marruecos, se podrían realizar recomendaciones para aumento de rigidez de los muros de adobe, como se expone:
 - a. Tablones de madera o troncos colocados horizontalmente en el muro cada 4 hiladas de ladrillos de adobe.
 - b. Asegurados a lo largo de los muros, uniones y contrafuertes.

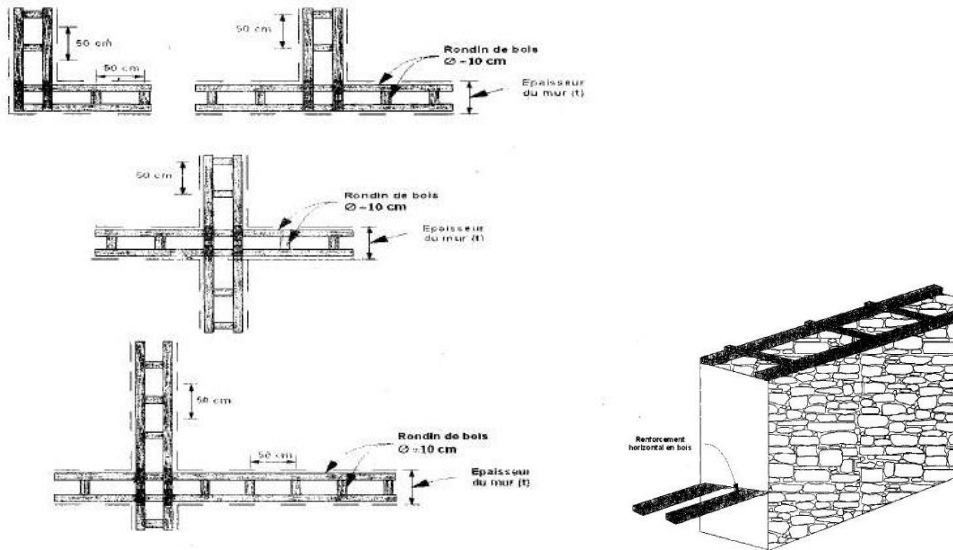


Figura 15 Refuerzo horizontal en madera, figura 34 de (Comité national des constructions en terre, 2013)

- ii. Las conexiones de anclajes horizontales al muro encontradas en la norma de Marruecos, que se pueden emplear para unir la viga collar al muro son:

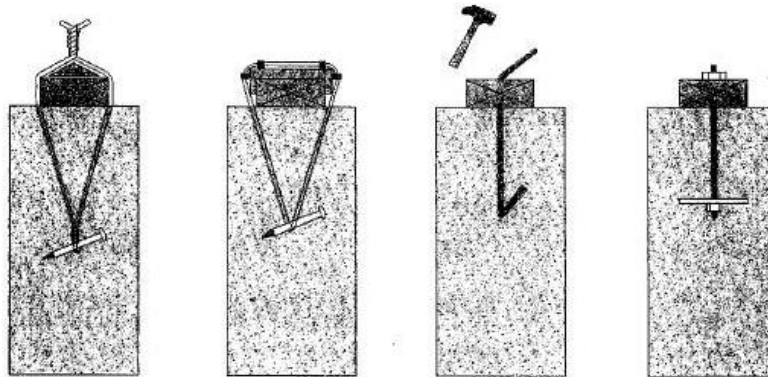


Figura 16 Tipo de anclaje para elementos horizontales al muro, figura 41 de (Comité national des constructions en terre, 2013)

- iii. El refuerzo horizontal en malla en forma de escalera en alambre galvanizado de 3mm de diámetro y malla o plástico con resistencia a tracción similar a la de alambre galvanizado, se coloca en el muro en varios niveles en el mortero principalmente en: la base del muro, la parte superior y en los dinteles o aberturas.

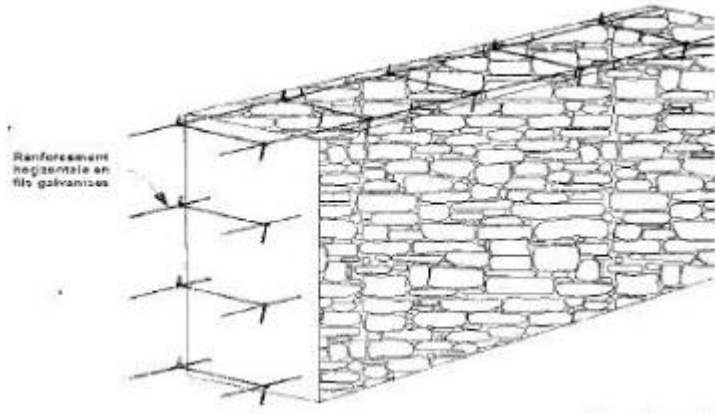


Figura 17 Refuerzo horizontal en malla de alambre galvanizado, figura 43 de (Comité national des constructions en terre, 2013)

- iv. También se plantean refuerzos en concreto reforzado, como encadenamientos horizontales similares a la mampostería, deben estar bien adheridos al muro.

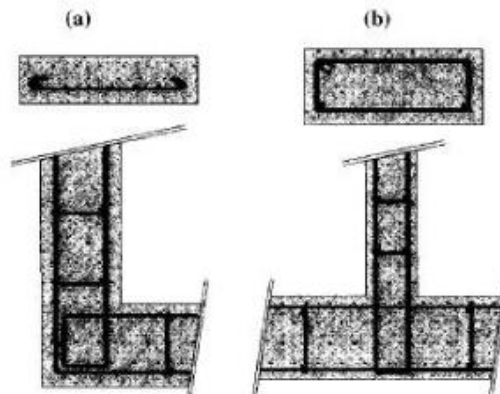


Fig.37. Chainage horizontal en béton armé :

Armature minimale : (a) longitudinale 2T12 ; transversale T6 esp=15cm
 (b) longitudinale 4T8 ; transversale T6 esp=15cm

Figura 18 Refuerzo horizontal en concreto reforzado, figura 37 de (Comité national des constructions en terre, 2013)

En el documento AIS610 – EP -17 para el sistema de reforzamiento con entramados, exige anillos de reforzamiento en las aberturas de ventanas y puertas con una distancia a 100mm de los bordes de estas, con materiales como: madera, acero, plástico o similar.

Así mismo, Marruecos insta en su norma que los muros deben ser consolidados por refuerzos a lo largo de los extremos de las aberturas, con elementos de madera o concreto reforzado; los refuerzos verticales deben prolongarse desde el nivel de piso hasta el nivel de techo; los elementos horizontales en las aberturas de las ventanas en la parte superior deben sobresalir 0.5m o más y en la parte inferior 0.3m, como se indica en la figura 19.

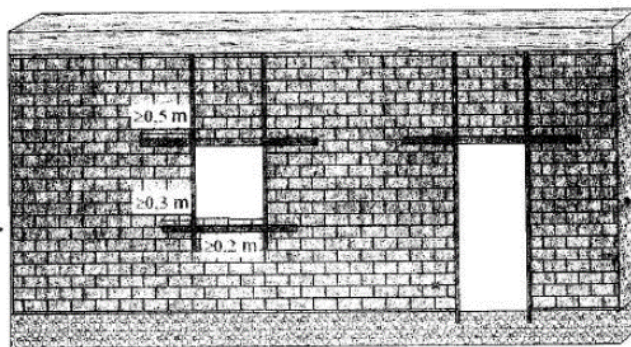


Fig. 46. Renforcement des ouvertures par des raidisseurs verticaux et horizontaux

Figura 19 Reforzamiento en aberturas horizontal y vertical, figura 46 de (Comité national des constructions en terre, 2013)

En el documento AIS610-EP – 17 numeral 7.2.3 para reforzamiento con mallas de acero o sintéticas, es similar comparado con lo encontrado en las normas de Marruecos y Perú, en cuanto a que deben ir ancladas a la cimentación y a la parte superior del muro, además de otros requerimientos:

- i. Marruecos: el refuerzo lateral en malla de alambre galvanizado o plástico, se puede usar en ambas caras del muro, interconectadas a través de alambres del mismo material, para mejorar la estabilidad local del muro.
- ii. En la norma de Perú se encuentra que la separación máxima de las cuerdas sintéticas es de 0.30m, en cambio en el documento de la AIS indica 0.15m, para estructuras patrimoniales de uno y dos pisos.

La separación entre sogas horizontales menor a 0.40m para el tercio inferior de muro; 0.30m para el tercio central y 0.20m en el tercio superior. El refuerzo horizontal debe coincidir con los niveles inferior y superior de los vanos.

La capacidad mínima a tensión de las mallas sintéticas que indica el documento de la AIS610 –EP -17 es de 12kN/m, para estructuras patrimoniales es alto comparado con el especificado en Perú que es de capacidad mínima de 3.5kN/m en ambas direcciones para una elongación de 2%, que es considerado para estructuras de uso general, que lo implementan para aumentar la ductilidad de la estructura.

Adicionalmente, la norma de Perú dice que se utilicen refuerzos de dinteles flexibles como: caña o madera delgada amarrada por cordones o sogas y amarrar a la viga collar.

Las sogas que se emplean para el refuerzo son igual o mayores a 3.97mm de diámetro, y las sogas para unir las caras del muro son de un diámetro mínimo de 3.17mm.

Las mallas se pueden unir por nudos, con recomendaciones que hacen para el ajuste de lazos verticales y horizontales para los refuerzos con mallas sintéticas, nudos llamados: simple, llano doble y lazo, como se muestra en la figura 25.

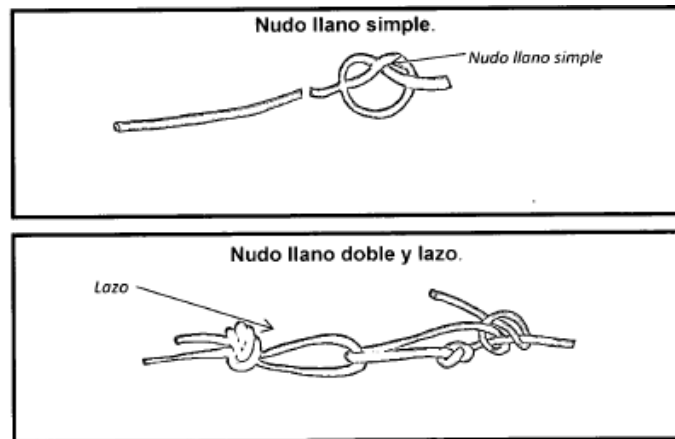


Figura 20 Nudos para refuerzos de sogas sintéticas (Equipo de Perú, 2017)

Incluso, en el documento de la AIS610 – EP -17 las mallas deben ir ancladas a la cimentación con la construcción de una viga de cimentación en concreto reforzado en la base del muro, ese procedimiento constructivamente puede ser analizado debido a que en un reforzamiento puede ser peligroso y debilitar el muro, al construir una viga nueva en la base de estructuras patrimoniales se deben realizar procedimientos constructivos como apuntalamientos asegurando una distribución de cargas, y en el caso de las estructuras en tierra como se ha expuesto a lo largo de este documento son muros portantes, el procedimiento de hacer un corte en la base debe considerar parámetros de construcción y de distribución de cargas, además, la construcción de la viga debe ser continua y debe garantizarse el realizar cortes segmentados, así mismo, dejar que el concreto fragüe para poder ser cargado con el peso propio del muro.

En la norma de Perú las sogas deben pasar por el fondo o la base del sobrecimiento 1.50 m, posteriormente se conectan más sogas hasta llegar a la viga collar, se tensa y anuda, (véase Figura 21) procedimiento para estructuras nuevas, uniendo las sogas con los nudos de refuerzo; este procedimiento puede tomarse como un caso de estudio para estructuras ya construidas, contemplando realizar perforaciones en la base y la viga corona de un diámetro mayor de las sogas, para posteriormente atravesar las sogas o materiales de refuerzo, tensar y enlazar, como alternativa constructiva se piensa que es viable, y no ser tan invasiva como la planteada en el documento AIS.

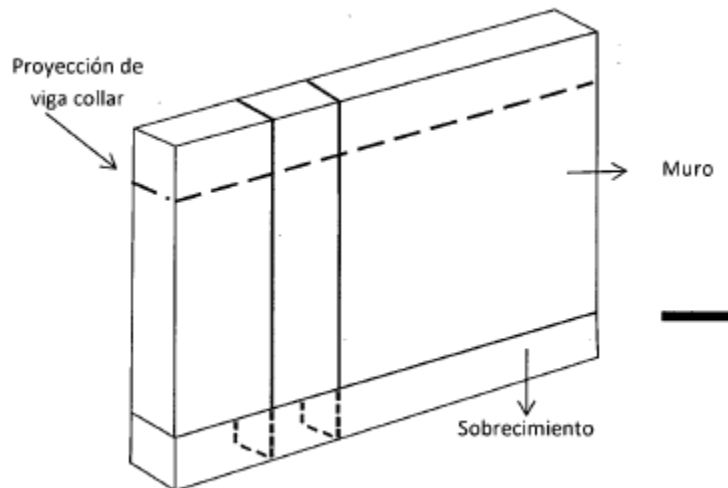


Figura 21 Refuerzos con mallas o sogas sintéticas desde cimentación, (Equipo de Perú, 2017)

Cabe agregar que las mallas de las dos caras se conectan con pernos pasantes separados a no más de 0.60m, unidos rígidamente a las mallas mediante platinas, pernos soldaduras, esto es lo que indica el documento AIS610 –EP -17.

En la norma de Perú para las uniones entre las mallas, las hacen con driza conectora, penetrando el muro con un talador para cruzar la driza, amarrando la intersección formada en cada cara del muro, con este procedimiento los materiales de unión son compatibles y se presenta menor incertidumbre al realizarlo, como fuerzas para torque de unión en pernos, puede contemplarse en estructuras que no sean patrimoniales y sean de un piso.

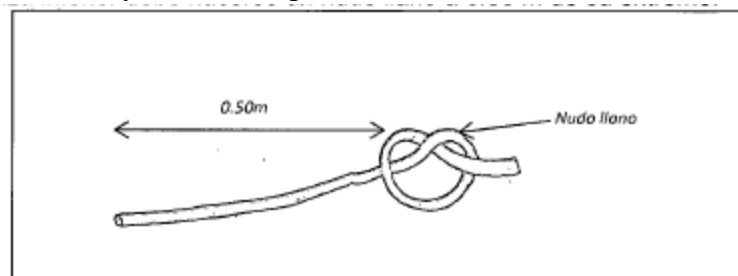


Figura 22 Drizas conectoras de mallas sintéticas Fuente: (Equipo de Perú, 2017)

- iii. Nueva Zelanda, enfoca el diseño de tierra reforzada, contemplando el diseño a corte de los muros, dominado el refuerzo por diseño a cortante, cuando los miembros están sometidos a flexión combinada y carga axial se considera la combinación crítica más alta.

Se especifica acero para el refuerzo siguiendo detalles de anclaje y desarrollo de estos. Refuerzos en las juntas en forma de celosía, espina de pescado o escalera

con acero galvanizado, barras de 4mm conectados por una red de 2mm soldada, además se puede utilizar malla de refuerzo.

La distancia libre entre barras de refuerzo no debe ser inferior al diámetro nominal o 25mm. El anclaje del refuerzo se hace con barras máximo de 6mm, ancladas 300mm alrededor de una barra mínimo de 12mm para adobe y máximo de 10mm para tapia pisada.

3.6. Obras patrimoniales de construcciones en tierra.

Las normas de Perú y Chile tienen en común que es necesario la conservación de las obras patrimoniales y garantizar la vida de los ocupantes. Los criterios son la compatibilidad de materiales y reversibilidad. Las pautas para realizar el análisis de las estructuras patrimoniales son similares a las indicadas en el documento AIS610 – EP -17: levantamiento de la estructura, pruebas de campo, registro historio o arqueológico y mantenimiento.

Conclusiones y recomendaciones

Este trabajo plasmó una revisión crítica de normas y reglamentos estructurales en estructuras nuevas o existentes; se realizó la evaluación de seis reglamentos: Perú, Chile, Marruecos, Estados Unidos y Nueva Zelanda, y los manuales de construcción de Alemania, Francia y San Salvador. Estos documentos se revisaron a la luz de seis criterios: caracterización de materiales, sistemas estructurales, filosofías de diseño y métodos de análisis, recomendaciones de reducción de vulnerabilidad y técnicas de reforzamiento.

Esta revisión buscó hacer una comparación entre ellas e identificó aspectos que podrían ser útiles para una revisión del documento AIS610, para un futuro documento de recomendaciones en construcción de estructuras nuevas, o para un documento con parámetros de autoconstrucción de estructuras en tierra. De la revisión crítica se encontró que:

1. En la caracterización de materiales se identificó que los documentos utilizados en Colombia trabajan con las mismas propiedades de los documentos estudiados. Se identificaron pruebas adicionales, que pueden considerarse para estructuras nuevas, que son: determinación del valor del azul de metileno y la determinación del contenido de sulfatos, cloruros y materia orgánica.
2. Las pruebas de campo: de cinta de barro, del cigarrillo, de presencia de arcilla o resistencia seca, de la pastilla, de control y fisuración, de erosión, de la botella y la caracterización por manipulación: olor, vista y tacto; además de los porcentajes y parámetros de: granulometría, índices de plasticidad, contenido de humedad, la geometría de los adobes y las cantidades de materiales estabilizadores, se pueden tener en cuenta para un documento de estructuras nuevas.
3. Se encuentra que el valor de f_m del adobe del documento AIS610- EP -17 es de 0.8MPa, obtenido por muchos ensayos de laboratorio y comparaciones realizadas en Colombia y el encontrado en las normas estudiadas está entre 1.0 – 1.2MPa, lo que presenta una característica más asertiva en los cálculos de la capacidad mecánica del sistema constructivo.
4. En los parámetros de resistencia a compresión de muretes de adobe y especificaciones de dimensiones pueden adicionarse al documento AIS las especificaciones para su realización, como: la altura igual a tres veces la dimensión menor de la base, junta de 2cm, después de 28 días de secado en 6 muestras con valor mínimo de 0.6MPa.
5. El módulo de elasticidad las normas de Perú y Chile es $E=200\text{MPa}$, sin embargo, la norma de Nueva Zelanda establece parámetros de $E=300\text{MPa}$; en Colombia para análisis de derivas es $E=70\text{MPa}$ y este valor está del lado de la seguridad, al momento de realizar evaluaciones de construcciones existentes.

6. Lo encontrado en métodos de construcción se podría involucrar en un documento para estructuras nuevas o de autoconstrucción en tierra, con los siguientes aspectos: criterios y límites geométricos, esbeltez de muro, cimientos, sótanos, muros, juntas y morteros, arriostres, entepiso y techo, aleros, drenaje, refuerzo de los muros, conexiones, puertas y ventanas.
7. Como sugerencia, se podría adicionar un ítem en el documento AIS610- EP -17, del implemento y construcción de yesos, pañetes y pinturas, especificando los procesos y recomendaciones en su aplicación.
8. El coeficiente de compresión simple y de corte, identificados en los documentos estudiados es de ϕ 0.6 y ϕ 0.7 en Marruecos y Nueva Zelanda, los que se encuentran en el documento AIS son mayores, por la formulación que se establece para hallar la resistencia a compresión y corte.
9. Los patrones de falla de los muros encontrados en los documentos estudiados son los mismos que se encuentran en el documento AIS610- EP -17.
10. Los muros vulnerables y fáciles de identificar son los que su esbeltez es $l/e \leq 6$, que son susceptibles a grietas, derrumbes y comportamientos fuera del plano.
11. La vulnerabilidad de las estructuras en tierra depende de la geometría de la estructura, calidad de los materiales, estado de la estructura, cantidad de daño sufrido durante el sismo. Para el análisis de las estructuras a reforzar como lo indica el documento AIS610- EP -17, y complemento del capítulo 9 sería útil exponer los tipos de daños a identificar como: áreas críticas en aberturas, ángulos y conexiones; pandeo fuera del plano por esbeltez de muro, estado de conservación en la base de los muros, muros débilmente arriostrados, daños en esquina por concentración de esfuerzos, pérdida de contacto entre el muro, el techo y el piso.
12. En estructuras nuevas la reducción de la vulnerabilidad ante efectos sísmicos se mitiga con las buenas prácticas de ubicación de la vivienda, forma de la planta y evitando los errores de construcción; además de la selección correcta de los materiales.
13. Las normas de Perú, Chile, Marruecos y Nueva Zelanda implementan reforzamientos estructurales, principalmente para el aumento de ductilidad, en donde debe existir encadenamiento desde la cimentación hasta la viga de coronación. Los materiales empleados para esto son: caña carriza, caña brava, madera rolliza, ramas trenzadas de fibra vegetal, sogas, geomallas, drizas, malla de acero electrosoldada, contrafuertes, tensores de acero o sintéticos, cables, madera. Las soluciones que se presenten para

reforzar deben ser compatibles con el material tierra, se consideran incompatibles los materiales que tengan 10 veces la rigidez del material base.

14. En el momento de intervenir una obra patrimonial, deben seguirse los siguientes parámetros: criterio estructural, levantamiento estructural, hacer un diagnóstico del estado de la conservación de la construcción, identificar el mantenimiento. Analizar los datos, evaluarlos y proponer con materiales compatibles refuerzos de ser necesaria una intervención para la conservación.

APÉNDICE 1

Traducción libre de la norma de Marruecos sobre los parámetros para reducir la vulnerabilidad de las estructuras en tierra

La ductilidad y la estabilidad general de la construcción en tierra están garantizadas por el cumplimiento de los requisitos mínimos relativos de las reglas generales del diseño arquitectónico, las características de los materiales utilizados, las prestaciones mecánicas de las estructuras de refuerzo, sistemas de refuerzo, condiciones de conexión entre los diversos componentes constitutivos, las disposiciones de construcción y las condiciones de implementación.

Daño sísmico

La importancia del daño sísmico en una construcción de tierra depende de varios factores:

- La intensidad del terremoto.
- La geometría de la estructura y los arreglos estructurales (la regularidad en el plano y la elevación de la construcción, la configuración de los muros, techos, aberturas y cimientos).
- La calidad de los materiales y la calidad de su implementación.
- El estado de la estructura antes de la llegada del sismo.
- Los refuerzos sísmicos de la construcción.
- La cantidad de daño sufrido durante terremotos anteriores.

Principales tipos de daños sísmicos

El daño observado en las construcciones de tierra se encuentra en las áreas más críticas de la construcción (aberturas, ángulos de los muros, la base del muro, las conexiones entre los elementos constitutivos).

Comportamiento sobre plano de muros

Los muros sometidos a acciones sísmicas perpendiculares a su plano y sujetos a condiciones de soporte en sus bordes están supeditados a esfuerzos de flexión que inducen grietas en las zonas de concentración de esfuerzos, como los soportes; los contornos de las aberturas y las secciones a media altura y media longitud.

Estas grietas se originan en los enlaces en la parte superior del muro y se propagan verticalmente y luego horizontalmente. Cabe señalar que las grietas debidas a la flexión fuera del plano se encuentran entre los primeros tipos de grietas que aparecen en una construcción de tierra durante un sismo. A menudo están presentes durante un terremoto moderado e incluso débil con daños significativos en el caso de volcamiento del muro.

La estabilidad fuera de plano de un muro depende de parámetros de: esbeltez; las condiciones de conexión del muro con los muros laterales, los cimientos, el piso o el techo; las condiciones y la importancia de las cargas verticales y operativas permanentes; la longitud de los muros entre los soportes de refuerzo laterales; la presencia de aberturas, tamaño, ubicación y porcentaje del área total de aberturas en relación con el área total del muro; la calidad de los materiales y la implementación del muro y el estado actual del muro (la humedad en la base del muro, grietas, etc. .)

Grietas y derrumbes de un muro

Los muros más vulnerables al colapso y al pandeo fuera del plano a menudo son muy delgadas (h / t mayor que 9) y tienen conexiones desordenadas con el piso o el techo.

Agrietamiento por flexión fuera del plano de un muro apuntalado lateralmente:

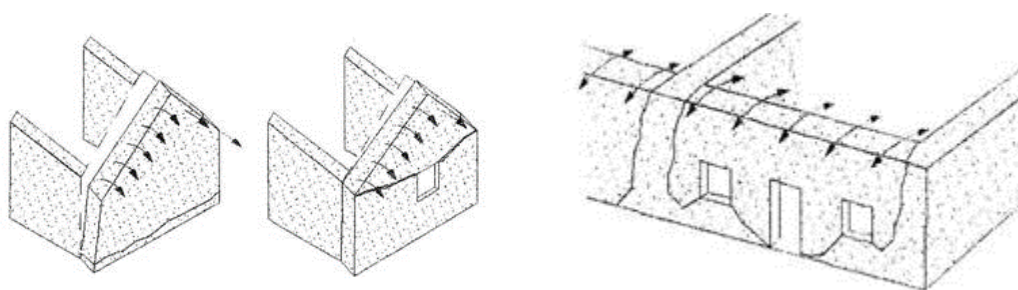


Figura 23 Colapso de muros vulnerables, figuras 5.4 y 5.1 de (The Getty Conservation Institute, 2002)

La calidad de las conexiones entre los muros y los soportes laterales y horizontales es un factor estabilizador del muro con respecto a las acciones transversales. Un encadenamiento al nivel del techo será suficiente para estabilizar los muros contra el movimiento transversal fuera del plano.

La fuerza normal que representa las cargas verticales aplicadas al muro actúa como un factor estabilizador y especialmente si el grosor del muro es importante. Actúa como una fuerza restauradora que tiende a llevar al muro a su posición de equilibrio, siendo esto cierto para pequeños desplazamientos horizontales, por el contrario, en caso de grandes desplazamientos, este esfuerzo acelera el proceso de inversión.

El estado de conservación en la base del muro tiene mucha influencia en su estabilidad. La erosión, el espesor reducido y la humedad excesiva son factores que debilitan la resistencia del muro y hacen que se colapse rápidamente.

Los muros débilmente arriostrados son los más vulnerables al derrumbe porque no están soportados en la dirección perpendicular a su plano. El refuerzo de un muro mejora su estabilidad y limita su movimiento transversal durante un terremoto. Los muros de contorno generalmente no están reforzados y son vulnerables a volcarse.

Grieta horizontal a media altura del muro

Este mecanismo de ruptura generalmente se observa en construcciones para las cuales los muros son delgados, (h / t mayor que 9) y están bien adheridas al nivel de los pisos y techos. Se caracteriza por la aparición de grietas horizontales a media altura de la pared. Las construcciones de tierra no siempre son fuente de este tipo de daño porque los muros generalmente tienen un espesor bastante grande y una baja relación de esbeltez.

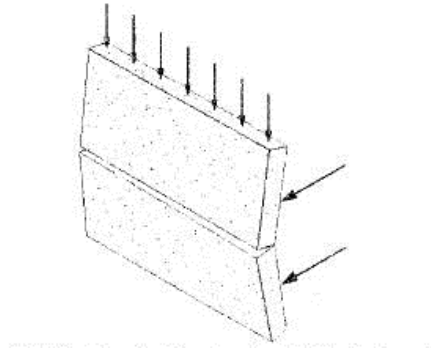


Figura 24 Falla a media altura, fuera del plano por flexión (The Getty Conservation Institute, 2002)

Comportamiento de daño en el plano del muro

Los muros de carga son a menudo los elementos de refuerzo de las construcciones de tierra, están sujetos al efecto combinado del esfuerzo de corte sísmico ubicado en su plano y la fuerza de compresión de descenso de carga estática excéntrica longitudinalmente a lo largo de su longitud.

Los mecanismos de fisuración de los muros cargados lateralmente en planta se caracterizan por:

Las grietas que ocurren entre las aberturas y pueden ser más grandes durante un período prolongado de agitación. Este fenómeno se ve agravando por el efecto combinado de las cargas de gravedad y las fuerzas sísmicas.

Daños en la esquina

Cuando se presenta concentración de esfuerzos en las esquinas, y no tienen buenos acoples, generan inestabilidades, el daño se puede presentar de tres tipos:

Grietas diagonales debido a esfuerzo de corte: Puede considerarse como una falla grave porque induce un colapso parcial de la pared y una pérdida de soporte de la estructura del piso o el techo.

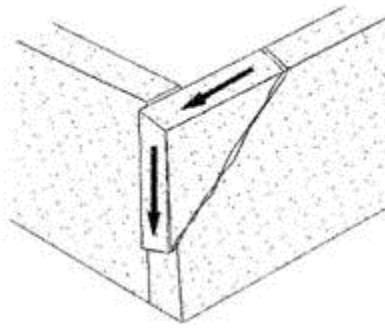


Figura 25 Inestabilidad en esquina de muro, figura 5.10 (The Getty Conservation Institute, 2002)

Grieta vertical en la unión de los muros: este agrietamiento se presenta por la mala unión entre los muros.

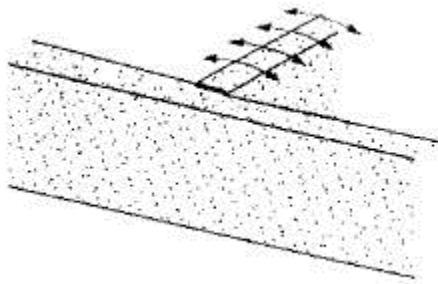


Figura 26 Grietas verticales en unión entre muros, separación entre muros (The Getty Conservation Institute, 2002)

Grietas por inestabilidad, cruzada y local: este tipo de grietas se presenta por el efecto combinado de corte y flexión que puede ser la fuente de inestabilidad y falla local en las uniones.

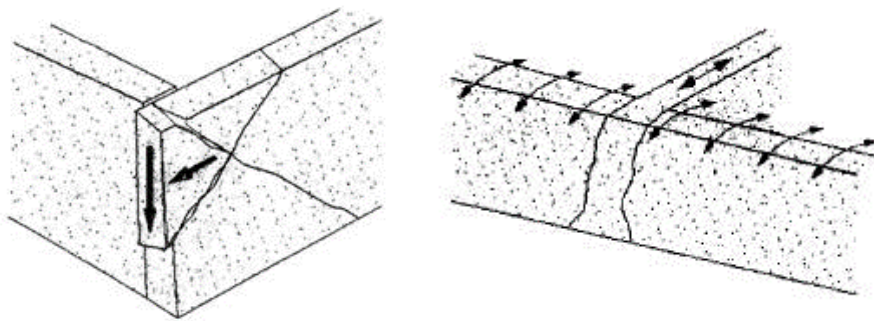


Figura 27 Falla local en unión de muros, figura 5.16 de (The Getty Conservation Institute, 2002)

Daños a las aberturas del muro (ventanas y puertas)

Los ángulos y las áreas cercanas de las aberturas son los más expuestos al daño debido a que hay concentración de esfuerzos, especialmente los ángulos superior e inferior.

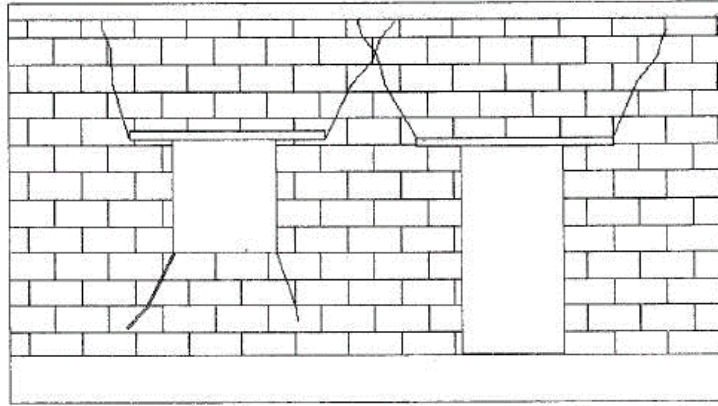


Figura 28 Grietas en las aberturas (Comité nacional des constructions en terre, 2013)

Pérdida de contacto entre un muro y el piso o techo

Es un deslizamiento que ocurre generalmente entre la estructura de soporte del piso o de techo (vigas principales, o diafragmas) y los muros. Un movimiento relativo suficiente entre el muro y el techo podría provocar un colapso del edificio. Este fenómeno también es frecuente en las nuevas construcciones de tierra que tienen un encadenamiento a nivel del techo pero que no tienen sistemas de anclaje adecuados para reforzar las conexiones entre el muro y el encadenamiento.

Daños a nivel de conexión

Los anclajes son diseñados y destinados a mejorar las conexiones de unión entre muros, conexiones de unión entre muros y pisos o techos, conexiones entre muros y encadenamiento, conexiones entre muros y dinteles, conexiones entre cimientos y muros.

El daño que ocurre en los anclajes se debe a las concentraciones de tensión de interacción producidas durante el sismo. La elección del tipo de anclaje y las condiciones de su implementación son parámetros muy importantes para una mejor estabilidad local de las uniones.

Daño a los enlaces de unión entre el muro y el techo

Las grietas horizontales aparecen en la parte superior del muro cuando se conecta al piso o al techo a través de una viga o cadena. El encadenamiento debe estar bien unido al muro de soporte para permitir la transferencia adecuada de las restricciones del techo al muro.

Daño por humedad

La base del muro, debilitada por la humedad excesiva, está particularmente expuesta a grietas que se desarrollan a lo largo del muro. El deslizamiento del muro puede ocurrir a lo largo de estas grietas y hacer que la parte superior del muro se colapse hacia afuera.

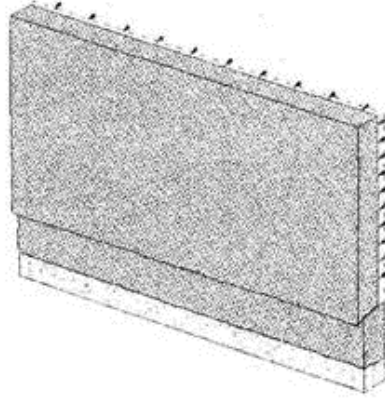


Figura 29 Deslizamiento de un muro por debilitación en base húmeda (Comité national des constructions en terre, 2013)

Otros factores

El agrietamiento existente debido a la contracción y fluencia del material tierra, la ausencia o disfunción del sistema de drenaje, la infiltración de agua a nivel del techo y las uniones de los muros, el fenómeno de la capilaridad y las lluvias, falta de mantenimiento y reparaciones anteriores no reflejadas, son los parámetros identificados para tener efectos negativos y que pueden desencadenar un colapso parcial o total de una construcción de tierra.

Bibliografía

- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1996). *NBR 13553 Materiais para emprego em parede monolitica de solo miento sem funcao estructural*. Rio de Janeiro.
- AFNOR - Association française de normalisation . (2001). *XP P13-901 Compressed earth blocks for walls and partitions* . Saint-Denis La Plaine Cedex.
- AIS600. (2017). *AIS610 - EP - 17: Evaluación e intervención de edificaciones patrimoniales de uno y dos pisos de adobe y tapia Pisada*. Bogotá D.C.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2008). *UNE 41410 Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques*. Madrid.
- ASTM International. (2010). *E2392 M-10 Standard Guide for Design of Earthen Wall Buildin Systems*. United States.
- Battistelli, A. (2005). *Tecnología y Patrimonio en Tierra Cruda en Colombia*. Barichara, Colombia: Centro di ricerca e documentazione in Tecnologia Architettura e Città nei paesi in via di sviluppo.
- Bureau of Indian Standards BIS. (1993). *Improving Earthquake Resistance of Earthen Buildings- Guidelines*. New Delhi.
- Bureau of Indian Standards BIS. (2011). *Indian Standard Code of Practice for Manufacture and Use of Stabilised Soil Blocks for Mansory*. New Delhi.
- Carazas, W. (2002). *Adobe: Guía de construcción parasísmica*. Francia: CRATerre-EAG.
- Comité national des constructions en terre. (2013). *Decret No. 2-12-666 du rejeb 1434 No. 6206-17 moharrem 1435*. Marruecos.
- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (2017). *Norma E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada*. Lima - Perú.
- Equipo Maiz y UNES. (2000). *La casa de adobe sismoresistente*. San Salvador.
- Flores, M. O. (2003). Técnicas de entramados. En *Arquitecturas de Tierra en Iberoamérica* (págs. 37-53). Buenos Aires: CYTED.
- INN Instituto Nacional de Normalización. (2013). *NCh3332 Estructuras - Intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda - Requisitos del proyecto estructural*. Chile.
- INNORPI. (1998). *NT 21.35: 1996 Blocs de terre comprimée ordinaries* . Tunisian Standards.
- KEBS. (1999). *KS02-1070:1993 Specifications for stabilized soil blocks*. Nairobi: Kenya Bureau of Standards.

- Minke, G. (2005). *Lehmbau-Handbuch Manual de Construcción en Tierra*. Alemania: Fin de Siglo.
- Minke, G. (2005). *Manual de Construcción en Tierra*. (K. Herzfeld, R. Loayza, & G. Peterseen, Trads.) Alemania: Fin de Siglo.
- Regione Piemonte. (2006). *L.R 2/06 Norme per la valorizzazione delle costruzioni in terra cruda*. Piemonte.
- Rios, S. (2003). *Arquitecturas de Tierra en Iberoamérica*. Buenos Aires, Argentina: Habiterra.
- Rivera, J., & Muñoz, E. (2004). *Caracterización estructural de materiales de sistemas constructivos en tierra: el adobe*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Ruiz Valencia, D., López Pérez, C., & Rivera, J. (2017). Propuesta de normativa para la rehabilitación sísmica de edificaciones patrimoniales. *Apuntes*, 25(2), 226-239.
- SNZ Standards New Zealand. (1992). *NZS 4203, Code of practice for general structural desing and design loading for buildings*. Wellington.
- SNZ Standards New Zealand. (1998). *NZS 4297, Engineering design of earth buildings [Building Code Compliance Documents B1 (VM1), B2 (AS1)]*. Wellington.
- SNZ Standards New Zealand. (1998). *NZS 4298, Materials and workmanship for earth buildings [Building Code Compliance Document E2 (AS2)]*. Wellington.
- SNZ Standards New Zealand. (1999). *NZS 4299, Earth buildings not requiring specific desing*. Wellington.
- Standards Association of Zimbabwe. (2001). *SAZS 724:2001 Standard Code of Prectice for Rammed Earth Structures*. Harare.
- Standards Organization of Nigeria SON. (1997). *NIS 369:1997 Standard for Stabilized Earth Bricks*. Lagos.
- The Getty Conservation Institute. (2002). *Guías de planeamiento e ingenieria para la etabilización sismorresistentes de estructuras historicas de adobe*. California: Getty Publications.
- Turk Standardi. (1977). *Turk Standard TS 2514*. UDK 691.41.
- Turk Standardi. (1985). *Turk Standard TS 2515*. Turquía: UDK 693.2:691.41.
- Viñuales, G. M. (2007). Tecnología y construcción con tierra. *Apuntes*, 20(2), 220-231.