

Identificación y Compilación de Sistemas de Reforzamiento Estructural de
Muros de Tapia Pisada y Adobe a Partir de Investigaciones Aplicadas

Autores:

Jorge Luigi Vera Jurado 000280932

Rony Villegas Romero 000268141

Director:

Nestor Ivan Prado Garcia

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingeniería

Universidad Pontificia Bolivariana

Bucaramanga

2021

Tabla de contenido

1.	Delimitación del Problema.....	10
2.	Antecedentes	12
3.	Justificación.....	15
4.	Objetivos	17
4.1	Objetivo General.....	17
4.2	Objetivos Específico	17
5.	Marco Referencial	18
5.1	Campos de acción	18
5.1.2	Conservación del Patrimonio Cultural Inmueble.....	18
5.1.3	Arquitectura contemporánea de bajo impacto ambiental.....	19
5.1.3	Vivienda de bajo costo con impacto social	19
5.1.4	Habitad de Bienestar	20
5.1.5	Interiorismo	20
5.2	La Tierra como Elemento Constructivo.....	21
5.2.1	Sistemas constructivos	22
5.2.2	Proceso Constructivo	24
5.2.3	Mecanismos De Falla Típicos En Construcciones De Adobe y Tapia	26
5.2.4	Rehabilitación Sísmica.....	32
6	Diseño Metodológico.....	33

6.1	Alcance de la Investigación.....	33
6.2	Tipo de Investigación.....	33
6.3	Procedimientos.....	33
6.3.1	Planeación.....	33
6.3.2	Observación.....	36
6.3.3	Análisis.....	37
6.3.4	Documentación.....	38
6.3	Instrumentos y Técnicas.....	38
6.3.1	Fases De la revisión bibliográfica.....	38
7	Resultados	41
7.1	Resultado de la Búsqueda y Revisión	42
7.2	Proceso Constructivos.....	48
7.2.1	Tapia Pisada.....	48
7.2.2	Adobe	49
7.3	Comportamiento Estructural de Muros de Tapia Pisada y Adobe Tradicional	50
7.3.1	Muros de Tapia Pisada.....	50
7.3.2	Muros de Adobe Tradicional.....	56
7.4	Mejoramiento del Material Tierra Para la Mejora en el Desempeño Estructural de los Sistemas Constructivos de la Tapia pisada y el Adobe.....	62
7.4.1	Mejoramiento Material Tierra de la Tapia Pisada	63

7.4.2	Mejoramiento Material Tierra del Adobe.....	64
7.5	Alternativas para el Reforzamiento y/o Rehabilitación Estructural de Sistemas constructivos de Tapia Pisada y Adobe	67
7.5.1	Reforzamientos Internos	68
7.5.2	Reforzamientos Externos Tapia Pisada y Adobe.....	74
7.5.3	Rehabilitación de Estructuras	77
8.	Conclusiones	84
	Bibliografía.....	86

Lista de Tablas

Tabla 1. Composición de Materiales Convencionales	63
Tabla 2. <i>Composición de materiales Adicionales</i>	64
Tabla 3. <i>Elementos estructurales</i>	70

Lista de Figuras

<i>Figura 1.</i> Interiorismo en Adobe y Tapia Pisada.....	21
<i>Figura 2.</i> Fases de la revisión Bibliográfica.....	22
<i>Figura 3</i> Revisión de la Literatura, criterios de inclusión y exclusión	41
<i>Figura 4.</i> País de Publicación.....	42
Figura 5. Tendencia de Publicaciones.....	43
<i>Figura 6.</i> Proceso de Construcción de Tapia Pisada.....	49
<i>Figura 7.</i> Proceso de Construcción del Adobe	50
<i>Figura 8.</i> Deficiencias Estructurales de las edificaciones.....	54
<i>Figura 9</i> Secuencia de ensayo y comportamiento de la estructura.....	54
<i>Figura 10.</i> Cargas aplicadas y Respuesta inicial al sismo.....	55
<i>Figura 11.</i> Índices de Sobre-esfuerzo	56
<i>Figura 12.</i> Esquema de la instrumentación del modelo y La distribución de los sensores utilizados.....	59
<i>Figura 13.</i> Cargas expuestas y Análisis de daños y perjuicios.....	61
<i>Figura 14</i> Columnas de adobe no reforzadas en diferentes cepas axiales	62
<i>Figura 15.</i> Elementos de madera horizontales incrustados en los muros de tierra.....	68
Figura 16. Inclusión de caña brava en el Proceso	69
Figura 17. Mallas de juncia de sapo.....	71
Figura 18. Tela de fieltro usada como refuerzo	72
Figura 19. Dispositivo SMA.....	78
Figura 20. Diafragma de madera.....	79
Figura 21. Prueba de compresión en los adobes reforzados	80

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: IDENTIFICACIÓN Y COMPILACIÓN DE SISTEMAS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE MUROS DE TAPIA PISADA Y ADOBE PARTIR DE INVESTIGACIONES APLICADAS

AUTOR(ES): Jorge Luigi Vera Jurado
Rony Villegas Romero

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Nestor Ivan Prado Garcia

RESUMEN

En este estudio teniendo en cuenta la gran importancia de la construcción con tierra, y con el fin de preservar y mantener esta práctica ancestral se busca conocer y analizar los comportamientos de los sistemas constructivos de adobe y tapia pisada, ya que debido a las afectaciones proporcionadas por el tiempo, los cambios climáticos y la actividad sísmica, se ven afectadas en gran medida, sufren daños significativos y en algunos casos el colapso de la estructura. Por ello, el propósito principal del proyecto investigativo, fue la identificación y compilación de sistemas de reforzamiento estructural de muros de tapia pisada y adobe a partir de investigaciones realizadas o desarrolladas en diferentes partes del mundo, a través de una revisión bibliográfica. Entre los resultados hallados, se pudo concluir que existen variedad de sistemas o prácticas desarrolladas a nivel mundial para este fin y que los comportamientos estructurales del adobe y la tapia pisada se dan según la zona de construcción y esto puede ser debido a las diferentes combinaciones granulométricas de los componentes, así como la incorporación de aditivos extras propios de cada cultura en pro de mejorar la resistencia, cohesión, el aislamiento térmico y la durabilidad.

KEYWORDS:

Adobe, Tapia Pisada, Reforzamiento, Sistema Constructivo, Comportamiento Estructural, Alternativas de Rehabilitación

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: IDENTIFICATION AND COMPILATION OF STRUCTURAL REINFORCEMENT SYSTEMS OF RAMMED EARTH AND ADOBE WALLS BY APLICATED INVESTIGATIONS

AUTHOR(S): Jorge Luigi Vera Jurado
Rony Villegas Romero

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Nestor Ivan Prado Garcia

ABSTRACT

In this study, taking into account the great importance of building with earth, and with the purpose of preserving and maintaining this ancestral practice, we seek to know and analyze the behavior of adobe and rammed earth constructions systems, since due to the affectations provided by time, climatic changes and seismic activity they are greatly affected, suffer different significant damages and some cases the collapse of the structure. Therefore the main purpose of the research project was the identification and compilation of structural reinforcement systems for adobe and rammed earth walls, based on research carried out of developed in different parts of the world, through a bibliographic review. Among the results found, it was possible to conclude that there are a variety of systems or practices developed worldwide for this purpose and that the structural behavior of adobe and rammed earth walls varies according to the construction zone and this may be due to the different granulometric combinations of the components, as well as the incorporation of extra additives typical of each culture in order to improve resistance, cohesion, thermal insulation and durability

KEYWORDS:

Adobe, Rammed-earth, Reinforcement, Construction System, Structural Behavior, Rehabilitation Alternatives.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

Introducción

Siendo la tierra uno de los principales y más antiguos materiales para la construcción, donde diferentes culturas en diferentes continentes y sin tener relación alguna han adoptado las técnicas de construcción con tierra como una base fundamental para la constitución de sus asentamientos o ciudades. Es por esto que se hace de gran importancia el conocer y analizar los comportamientos de este tipo de construcciones en este caso el adobe y la tapia pisada, los cuales han sido utilizados desde hace muchas décadas atrás y hoy día representan gran parte de las culturas, ya que a través de estas se pueden conocer las historias de nuestros antepasados.

Partiendo de lo anterior se desarrolla una investigación donde el principal objetivo es el Identificar y compilar sistemas de reforzamiento estructural de muros de tapia pisada y adobe, a partir de investigaciones realizadas o desarrolladas en diferentes partes del mundo, se realizó una revisión exhaustiva para identificar y dar un aporte de estas alternativas a los constructores contemporáneos, con el fin de brindar diferentes pautas para identificar los elementos clave para una buena intervención dentro de los proyectos de rehabilitación o la incorporación de los mismos en sus procesos constructivos.

Este proyecto de investigación inicia con la revisión bibliográfica de documentos posean información acerca del comportamiento sísmico, materiales y alternativas o reforzamientos estructurales de los sistemas constructivos de Adobe y tapia pisada, seguida de la clasificación y análisis de la mismas y finaliza con la compilación de estos resultados en el libro final para optar por la titulación de Ingeniero Civil.

1. Delimitación del Problema

Las construcciones con tierra han sido concebidas esencialmente partiendo de la transmisión de las técnicas originadas popularmente, que traducen manifestaciones de soluciones razonables a requerimientos puntuales, respondiendo a condicionantes y herramientas que brinda la naturaleza. No obstante, la cultura de preservación presenta un gran inconveniente, ya que al haber sido transmitidos voz a voz y mediante experiencias personales, por lo regular no se cuenta con documentación que permita su caracterización, difusión y una evolución que incorpore elementos conceptuales, de proceso constructivo o de mejoramiento en algún aspecto. Es aquí donde entra en juego el gran papel de las universidades al ser los responsables de generación y documentación de estos conocimientos.

Actualmente, la principal problemática o dificultad en el desarrollo de construcciones con tierra (refiriéndonos a edificaciones de tapia pisada, adobe, bahareque y bloque de tierra comprimido) es el escaso conocimiento consolidado y difundido entre los profesionales debido al poco interés por parte la academia y centros de investigación nacionales para formar y desarrollar proyectos de investigación y estudios. Debido a lo anterior, hay limitaciones en la generación de conocimiento sobre el comportamiento estructural y se presentan aún más limitaciones en el momento de formular proposiciones de sistemas de reforzamiento, sobre todo cuando se habla que los muros de tierra son los que soportan las cargas estructurales.

Para el caso colombiano, donde la condición sísmica es un factor de diseño de gran peso, el hecho de que la NSR10 no contemple a la tierra como material para construir ni a ninguno de los sistemas constructivos relacionados, hace que el desarrollo del tema se dificulte aún

más. Ni la academia, ni los centros de investigación, ni las políticas de Estado reconocen a las técnicas ancestrales de construcción como alternativas de hábitat válidas en el contexto colombiano, en contraposición existe una gran realidad: la mayor parte de nuestra población rural y las pequeñas poblaciones urbanas (que son la mayoría en el país) están construidas con tierra.

Si se piensa en un origen de la problemática señalada, se puede atribuir en gran medida la responsabilidad a las instituciones universitarias e investigativas en cuanto al avance, generación y expansión de conocimientos sobre los comportamientos estructurales y estudios orientados a generar estrategias y alternativas de reforzamiento. El tema del reforzamiento es absolutamente pertinente, toda cuenta que cada vez se proyecta más la construcción con tierra en los campos de la sostenibilidad, la vivienda de bajo costo, la preservación del patrimonio y el bienestar.

En cuanto a comportamiento estructural, los laboratorios, centros de investigación y universidades que han sido pioneros y más han avanzado en investigaciones aplicadas y formales, pertenecen a lugares como Chile, Perú, Ecuador y California entre otros, debido a que han sido afectadas drásticamente sus edificaciones por sismos. En Colombia, donde la condicionante sísmica es la de mayor relevancia en el diseño, se han realizado pocas investigaciones en comparación con el desarrollo en los países antes mencionados. Esta tesis presenta los avances en esas investigaciones y los contrapone y los suma con los resultados obtenidos en los procesos adelantados en el país.

2. Antecedentes

Desde los inicios de la cultura, existen signos de que los individuos hacían uso de la tierra como elemento urbanístico y para erigir sus ciudades. Antecedente de esto, se tienen las edificaciones domiciliarias y funerarias de Egipto, en donde hacían bloques manualmente dejándolos bajo los rayos solares para su proceso de secado, durante un tiempo determinado. A través del tiempo, los avances tecnológicos y otros factores han dado origen las edificaciones o construcciones con tierra hayan disminuido en gran proporción respecto a otros sistemas de construcción (Macías, 2016).

No obstante, estas praxis iniciales de urbanismo y construcción se desplegaron hace muchos siglos, y como preservación de las memorias de los antepasados han persistido a través de los siglos y han sido sucedidas por las posteriores generaciones, lo que ha derivado en la conformación de pueblos y en la actualidad de muchas ciudades. Basado en prácticas de construcción ancestrales, hoy día este método constructivo es desarrollado por una gran mayoría de integrantes de entornos rurales colombianos, esto como una alternativa y respuesta a las necesidades de hogares y edificaciones de clase comunitarias. Actualmente un gran número de las edificaciones más significativas de la herencia patrimonial arquitectónica y urbanística de Colombia tales como, centros religiosos, instituciones educativas, claustros y hogares patrimoniales, los cuales su construcción se realizó con dicho material, les han realizado alguna especie de intervención para poder ser conservadas o restauradas; esto se ha realizado por medio de sistemas de reforzamiento de estas estructuras (Mesa & León, 2018), que muchas veces no contemplan verdaderamente la manera como la tierra responde a las exigencias estructurales.

Por ello, y como sustento de esta investigación se toman algunos referentes bibliográficos, los cuales brindan validez al desarrollo de la misma.

Como primer antecedente se tiene el proyecto de investigación realizado por los autores Yamín, Bernal, Reyes, & Ruiz (2007), el cual tuvo por objeto el despliegue de un estudio investigativo dirigido a establecer la conducta de este sistema constructivo en su tiempo presente y plantear opciones de recuperación sismológica factibles desde un enfoque técnico, y el cual tuvo como resultado que las rehabilitaciones propuestas e implementadas como reforzamiento para esas edificaciones disminuyen la vulnerabilidad sísmica y retrasan de manera considerable el colapso de los sistemas estructurales.

Como segundo antecedente se presenta un artículo sobre propuestas normativas para rehabilitaciones sismológicas de edificios patrimoniales, donde sus autores buscaban contribuir con soluciones a las problemáticas sísmicas de las construcciones de tierra, mediante la presentación de un proyecto consistente en un borrador que pretendía normalizar las rehabilitaciones constructivas con este material, con el fin de que fuera incluido en cualquier actualización posterior de la normatividad sismo-resistente del País. En el cual los autores tuvieron como resultado la construcción de varios de los apartados que fueron incluidos en esa propuesta de normatividad, como el propósito, nomenclatura, caracterización de materiales, alternativas de rehabilitación de muros, entre otros (Ruiz et al., 2012).

En otro artículo presentado por López et al. (2007), se enfocaron en establecer las características mecánicas del comportamiento de muros de adobe ante cargas pseudodinámicas paralelas al plano muro, en tres especímenes a escala real de edificaciones

religiosas. Este documento presentó los resultados del trabajo experimental realizado entre el 2001 y el 2005, donde efectuaron investigaciones detalladas mediante visitas técnicas y de inspección a las metodologías constructivas de las edificaciones históricas de los Andes de Colombia, la mayoría de ellos con fabricación en adobe. Mediante los análisis realizados a los especímenes, establecieron propiedades mecánicas del comportamiento de estos muros y en las paredes rehabilitadas mediante tensores de acero hallaron mejor comportamiento general.

Con el fin de ayudar a los afectados del terremoto de Perú del año 2007 en la zona de la Sierra, surgió a través de instrucciones expuestas en un lenguaje simple y complementado con muchos gráficos, el modelo de refuerzo con geomallas para edificar viviendas resistentes a los sismos. Los autores Vargas, Neumann, & Marcial, (2007) estructuraron el documento de tal forma que abarcaron desde una buena elaboración de los adobes, pasando por la forma correcta de construir cada ambiente de la vivienda, hasta la colocación correcta de los acabados y todo lo concerniente al mantenimiento; El objetivo principal de este trabajo, fue proveer metodologías acertadas para la construcción de viviendas de adobe con tecnología sismo resistente

3. Justificación

Entre los principales sistemas constructivos o materiales de tierra se encuentra la tapia pisada, el adobe, el bahareque y bloque de tierra comprimida, sin embargo, dentro de la investigación solo se tendrán en cuenta los dos primeros mencionados para conocer las diferentes técnicas de reforzamiento estructural aplicadas a estos. Esto debido a que el bahareque se comporta estructuralmente diferente: es una estructura elástica que se deforma y el adobe y la tapia son muros de carga que no se deforman. El BTC es un material nuevo, relativamente reciente por lo que la investigación se remitirá a los sistemas de mayor tradición como lo son el adobe y la tapia pisada.

De los componentes de construcción provenientes de la naturaleza y transformados por el individuo, que han sido calificados como “materiales tecnogénicos” la World Reference Base for Soil Resources (WRB), (2006), citada por Gama et al., (2012), recalca el adobe por ciertas cualidades y propiedades puntuales, como el mínimo coste de elaboración, amplia disponibilidad, niveles de ahorro energético, fácil manejo, excelentes características mecánicas en la construcción y facilidad de integración y reciclaje de excedentes al ecosistema, lo que sobrelleva un direccionamiento de responsabilidad ambiental y una carga de responsabilidad social, siendo una buena manera de solucionar las problemáticas de viviendas, ya que son propuestas de casas que se pueden autoconstruir a muy bajo costo.

De igual manera la tapia pisada es un sistema constructivo material que destaca por su estabilidad y dureza, y entre sus principales ventajas se encuentran, un excelente Comportamiento Térmico, sistema de aislamiento acústico y de radiaciones óptimo, buena respuesta ante fuego, aguante de Impactos alto, económico y ecológico. Dado que no se

requiere modificación, no se necesita consumo energético y el intercambio de humedad entre el interior y el exterior es excelente.

Sin embargo a pesar de las diferentes propiedades que este tipo de edificaciones poseen, se hace necesaria la aplicación de sistemas de reforzamiento estructurales que permitan mejorar su respuesta estructural ante las diferentes exigencias a las que irá a ser sometida en su vida útil, sobre todo aquellas generadas por el sismo. Es por esto que diferentes autores han propuesto el uso de contrafuertes, reforzamientos con maderas, tensores de acero, mallas metálicas, variados modelos de vigas de coronación, entre otros. Y dentro de esta investigación se busca recopilar estos estudios, con el fin de crear y desarrollar la compilación de los sistemas de reforzamiento estructural de muros en tapial y adobe más representativos, que hayan tenido efectos positivos en este tipo de construcciones. La compilación de los diferentes tipos de refuerzo sirve de base para la comprensión del universo de la investigación y la orientación que a nivel internacional ha tenido hasta el momento, Esto permite dirigir con mayor claridad la orientación de futuras investigaciones.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Identificar y compilar sistemas de reforzamiento estructural de muros de tapia pisada y adobe, a partir de investigaciones realizadas o desarrolladas en diferentes partes del mundo.

4.2 Objetivos Específico

- Identificar y conocer de manera no experimental el comportamiento estructural de muros de tapia pisada y adobe ante diferentes tipos de cargas, mediante una revisión de literatura.
- Analizar la participación de los diferentes componentes de los muros de tapia pisada y adobe en su desempeño estructural clasificándolos, de acuerdo con los datos obtenidos en la revisión literaria.
- Identificar, conocer y describir las diferentes técnicas y/o alternativas utilizadas para el reforzamiento de muros de tapia pisada y adobe, desarrolladas y ensayadas en procesos de investigación.
- Desarrollar una forma de presentación comparativa para identificar los diferentes tipos de reforzamiento de un muro en tapia pisada y adobe.

5. Marco Referencial

5.1 Campos de acción

5.1.2 Conservación del Patrimonio Cultural Inmueble

En el año 1998 en Santiago de Chile se celebró el Seminario sobre Patrimonio Cultural en el cual se determinó que el carácter patrimonial de los inmuebles lo constituyen o conforman, zonas, áreas, construcciones, obras ingenieriles, conjuntos industriales y arquitectónicos y estatuas con intereses y valores relevantes desde enfoques de la arquitectura, arqueología, etnología, historia, arte o ciencia, distinguidos y reseñados como tales. Estas propiedades son edificaciones creadas por la humanidad y que no pueden ser transportadas de un lugar a otro, ya sea porque son estructuras o porque poseen un gran valor arqueológico (Junta de Andalucía, 1998)

Conocer las cualidades técnicas constructivas, estéticas, artísticas, sociales, religiosas o funcionales de una edificación histórica, resulta esencial no sólo para el mantenimiento de la misma, sino para detectar los requerimientos y herramientas requeridas en su preservación. Por tal motivo en Colombia el BANCO DE LA REPÚBLICA creó una institución para la preservación del patrimonio nacional, donde para el patrimonio inmueble: establece que deben ser realizados previamente análisis de tipo técnico o trabajos de mantenimiento para cimentaciones de Interés Cultural (Banrepcultural, 2017). Según se encuentra registrado por el Ministerio de Cultura, existen reseñados más de 1.100 lugares y edificaciones del país, de los cuales el 90% está edificado con material tierra, y de estos, 45 centros históricos que han sido declarados patrimonio de la nación (López et al., 2007).

5.1.3 Arquitectura contemporánea de bajo impacto ambiental

También llamada bioconstrucción, y hace referencia a las edificaciones o unidades habitacionales, de refugio o cualquier otro tipo de construcción, que son hechas a través de materias primas que generan mínima huella en el ambiente, reciclados y altamente reciclables, e incluso, extraídos de manera sencilla y con bajo presupuesto.

Estas materias primas o materiales constructivos pueden hacer referencia al adobe, ya que puede ser material arcilloso, piedras, membranas vegetales o inclusive heces secas, que se basan en las construcciones tradicionalistas que usan elementos básicos característicos del sitio donde se va a realizar la edificación (DISEÑO VIP, 2019). Este tipo de edificación no solo es apta para nuevas obras, también puede ser tenida en cuenta en reformas; en la actualidad se debe considerar la rehabilitación de viviendas o edificios existentes para ahorrar energía y materiales (Garofano, 2020). Los impulsos que favorecen las construcciones sostenibles se deben dirigir a la disminución de los presupuestos que supone el mantener las edificaciones, donde se abraquen el mínimo impacto ambiental desde la fabricación de los materiales; el consumo mínimo en la energía del transporte, contemplando la utilización de elementos locales para construir; mínimo consumo de energía en el proceso constructivo y en el funcionamiento; y por último dentro de las ventajas más importantes se tiene un bajo impacto ambiental al final de la vida útil (Vasquez, 2001).

5.1.4 Vivienda de bajo costo con impacto social

El concepto de vivienda de bajo costo posee una directa relación con el poder de compra de los próximos habitantes. Es por esto que sustituir los materiales comunes por los convencionales genera un ahorro significativo en cuanto a costos de materiales y transporte,

con la disminución de estos costos se crea un impacto social en contextos alejados de los centros de producción y ventas de materiales industriales, siempre que la tierra del lugar sirva para ser usada como material principal. Logrando con esto desarrollar masivamente, variados programas de construcción de unidades habitacionales, esquemas urbanísticos, sub-urbanísticos y rurales generando un impacto social al volverlos de más fácil acceso para grandes grupos poblacionales de escasos recursos, que pudieran lograr adquirir vivienda (Ochoa & Toirac, 2005).

5.1.5 Habitar de Bienestar

Los proyectos constructivos con características sociales y habitacionales, tienen como objetivo mejorar la calidad de vida de la población, y se esfuerzan por incrementar las ventajas potenciales y comparativas de la comunidad, a fin de jugar un papel en la reducción de la desigualdad, porque estas obras representan soluciones reales que pueden optimizar la calidad vida en comunidades cuyas tasas de necesidad monetaria son relevantes y la pobreza se vislumbra en todos los niveles (MinVivienda, 2018). Cuando se habla de este concepto, se puede decir que va más allá de solo la infraestructura, deriva de la concepción de una sana relación con el medio ambiente, basada en el respeto hacia este. Se trata de un tema de salud, bienestar, confort que se logra en con el establecimiento de estas casas.

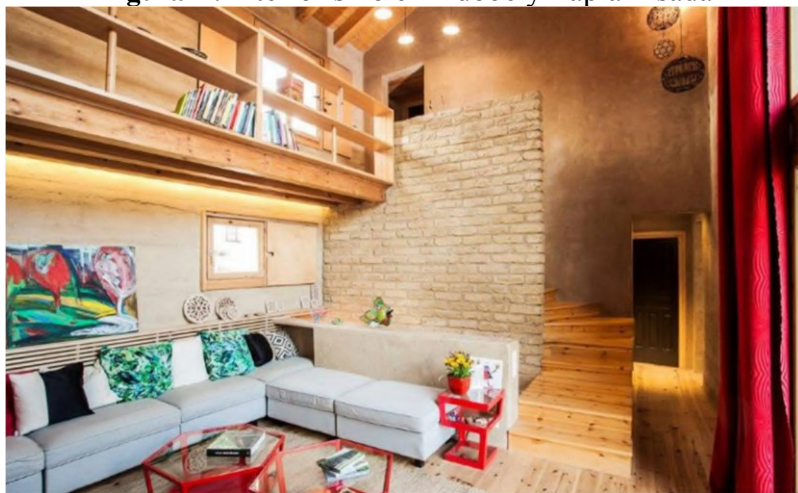
5.1.6 Interiorismo

El fin del interiorismo está en adecuar el espacio interior habitado a las necesidades de cada individuo. Por tal razón, es necesario tener múltiples informaciones vinculadas con la normatividad y los componentes esenciales referidos a diseños, metodologías psicosociales,

aspectos económicos, estéticos, funcionales, y del ambiente, entre otros, de la mano siempre, de la imaginación (ESDIMA, 2018).

En una sociedad cada vez más preocupada por el entorno ambiental, destacan diseños de construcciones sostenibles desarrolladas con tierra y que involucran la técnica del tapial y el adobe, creando conceptos de diseños agradables y sofisticados (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Figura 1. Interiorismo en Adobe y Tapia Pisada



Fuente: Tomada de “Construcción eficiente y sostenible” (2017)

5.2 La Tierra como Elemento Constructivo

Para utilizar la tierra como material de construcción, los resultados obtenidos por los laboratorios profesionales deben primero ser explorados, reconocidos y analizados. Esto con el fin de determinar las características fisicoquímicas al igual que las particularidades del propio material. Este elemento, por no ser una materia prima de construcción estandarizada, su composición se basará siempre del lugar de donde se extraiga, es por esto que es importante el control ensayos de sus propiedades para así en caso de ser necesario poder modificarlas (Macías, 2016).

5.2.1 Sistemas constructivos

La utilización de la tierra cruda a través de la historia como elemento constructivo, surgió de la presencia y disponibilidad del material sin mayor desplazamiento, sin la obligación de realizarle muchas modificaciones al material, el evitarse trasladarlo largas distancias y por no requerir educación y/o herramientas avanzadas en la realización de la tarea. "Tierra cruda" hace referencia a cero modificaciones o transformaciones industriales en su uso, en contraste con la que ha sufrido tratamiento de cocción siendo objeto de variación industrializada. A lo largo del tiempo han evolucionado los métodos constructivos con tierra cruda y esto puede tener relación con el avance de las materias primas constructivas y el avance de la tecnología, por lo que actualmente se halla una alta gama de opciones de técnicas de edificación (Macías, 2016).

5.2.1.1 Sistema constructivo con Tapia pisada

El sistema constructivo con Tapia Pisada es un método por medio del cual se irguieron y construyen edificaciones en tierra, sin la necesidad de ser sostenidas con piezas de madera u otros materiales. Este proceso consiste en apisonar tierra preparada capa por capa, en la mitad de 2 tablonés y con el grosor estándar de muros en piedra. Apisonada de esta forma, el material se une, toma firmeza y crea una aglomeración homogénea, la cual puede ser alzada hasta la altura necesaria para una vivienda o construcción (SENA, 2010).

La compactación se realiza con un instrumento elaborado en obra llamado pisón, que es una herramienta de madera con imagen similar a un palo de remar, sin embargo sus formas y peso pueden variar según las regiones o la persona que lo manipule; el apisonamiento se realiza al interior de una caja llamada tapial que posee dos tableros de madera de 2.0 m de

largo por 1.0 m de alto llamados hojas de los tapiales, y 2 planchas que establecen el grosor de los muros (AIS, 2004).

Figura 2. Imagen de Referencia de Construcción Tapia



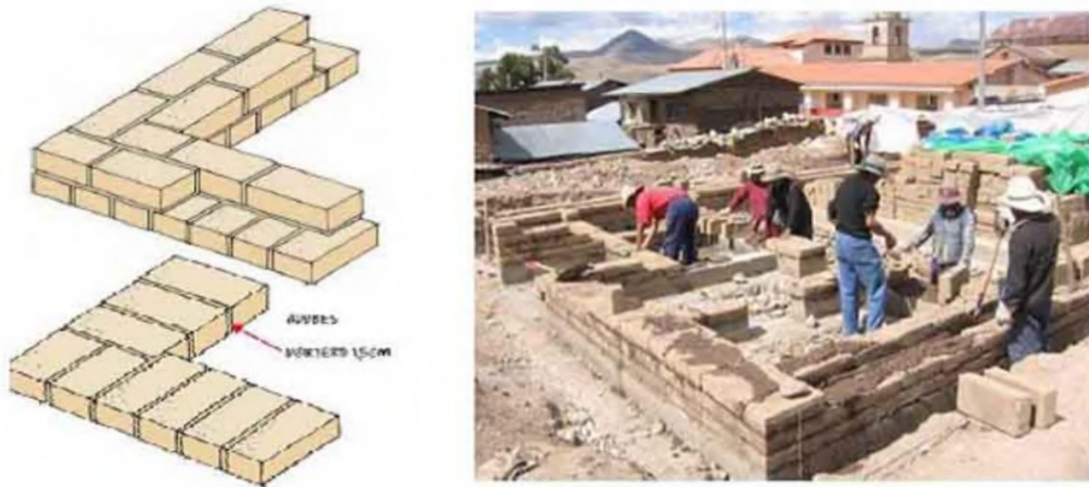
Fuente: Tomada de “Arquitectura en tierra”, Tocagua (2020). Recuperado de: <http://www.tocagua.com/index.html>

5.2.1.2 Sistema constructivo con Adobe

Se trata de uno de los sistemas constructivo con tierra más utilizado en la Península Ibérica. El adobe se define como un bloque sólido crudo, que puede contener paja u otros materiales que pueden mejorar su estabilidad a los medios externos (Ministerio de vivienda, 2010). Un adobe radica en la construcción de un bloque de barro que se constituye con dos polígonos planos a modo de bases y con un número variable de paralelogramos como lados de diferentes dimensiones, el adobe se realiza insertando el material en moldes, que se secan al sol sin compactación. Aunque no existen parámetros dimensionales, estas piezas suelen

tener dimensiones similares y se pueden montar correctamente incluso a mano (Macías, 2016).

Figura 3. Imagen de Referencia de Construcción con Adobe



Fuente: Tomado de “Construir una casa con adobe”, eba (2016). Recuperado de: <https://ebasl.es/construir-una-casa-con-adobe/>

5.2.2 Proceso Constructivo

5.2.2.1 La Cimentación

La base se construye con vigas formadas en la roca y materiales de relleno, que forman un marco de vigas debajo del muro principal de la edificación. Para realizarlo se utilizan las rocas que constituyen el material principal de la cimentación, estas rocas pueden ser de los siguientes tipos: angulares, redondas o una mezcla de ambas, la forma angular menor permite agarrar entre elementos mayores y sirve como cuña para la nivelación de las rocas. Por lo general, la parte inferior de la base alcanza el suelo firme debajo de la capa orgánica. La forma de base más comúnmente utilizada es "L", "T" invertida o base prismática con el mismo ancho que el muro (AIS, 2004).

5.2.2.2 Los Sobrecimientos

La capa de recubrimiento (Sobrecimiento) es de ladrillos cocidos y cal, piedra o arcilla, la parte de roca es similar a la cimentación, y el espacio que queda fuera de la parte superpuesta se nivela con pañete. El propósito del sobrecimiento es proteger la pared de tierra en el ladrillo o adobe del agua superficial, la humedad y el agua que gotea y otros efectos corrosivos que ocurren al nivel del piso. Además de formar parte de la base del asiento definida del muro. Delinea la protuberancia en el suelo hasta que se alcance la base.

5.2.2.3 Pisos Sobre el Terreno

Estos incluyen cimientos de ladrillo cocido, estructuras de madera, cimientos de roca, suelo compactado y baldosas cerámicas. Su configuración generalmente está separada del tipo y configuración de la cimentación y los sobrecimientos.

5.2.2.4 Detalles de la Mampostería

La mampostería está compuesta de:

- Paredes de Adobe
- Paredes de Tapia Pisada
- Vanos de Puertas y Ventanas

5.2.2.5 Entrepisos

Los entrepisos están conformados por:

- Vigas: cargueras y corona de entrepiso
- Uniones: viga corona - Viga carguera y vigas corona-esquinas
- Acabados de Entrepisos
- Cielo Raso

5.2.2.6 Muros en Nivel Superior

Estos muros se componen de 3 tipos de muros: muros cargueros, muros divisorios y muros superiores en bahareque.

5.2.2.7 Cubierta

Las estructuras de adobe y tapia pisada tienen diversidad en el tipo de estructura de cubierta. El elemento más utilizado del techo es madera rolliza, o en algunos casos, el elemento aserrado. Entre ellas se encuentran:

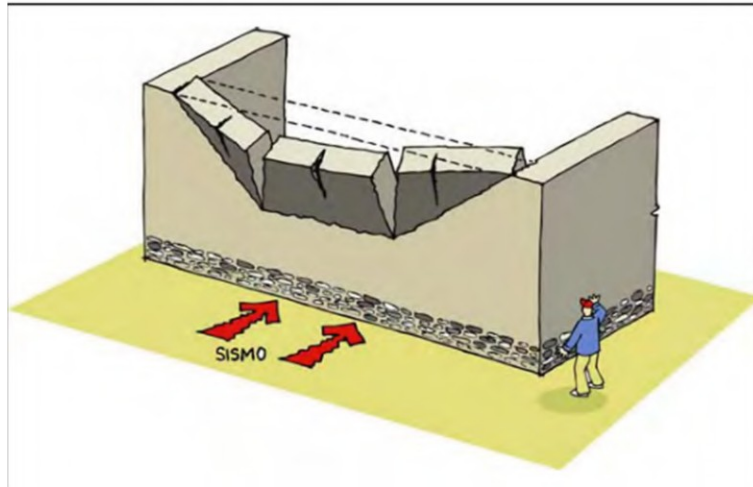
- **Viga cumbreira:** es parte de la viga longitudinal principal y en ella recaen las correas
- **Vigas correas:** soportan el encañado de techo y son las vigas principales
- **Pares:** son elementos diagonales
- **Tirantes:** reciben las vigas soleras y corresponden a unas vigas de madera que cruzan el vano
- **Soleras:** Son vigas dispuestas en la caja de tirantes, acogen las correas y las vigas pares.
- **Nudillos:** corresponden a componentes longitudinales de amarre entre vigas correas y vigas pares

5.2.3 Mecanismos De Falla Típicos En Construcciones De Adobe y Tapia

Existen ocho tipos de mecanismos de falla y/o tipos de agrietamiento respectivos más posibles que pueden producirse en las edificaciones convencionales de este tipo de construcciones (AIS, 2004):

TIPO 1: Como se muestra en la Figura 4, este tipo de falla se produce por una flexión perpendicular al muro, la flexión crea una fisura horizontal en el fondo o en altura media, y otra fisura vertical, lo cual constituye el mecanismo de falla.

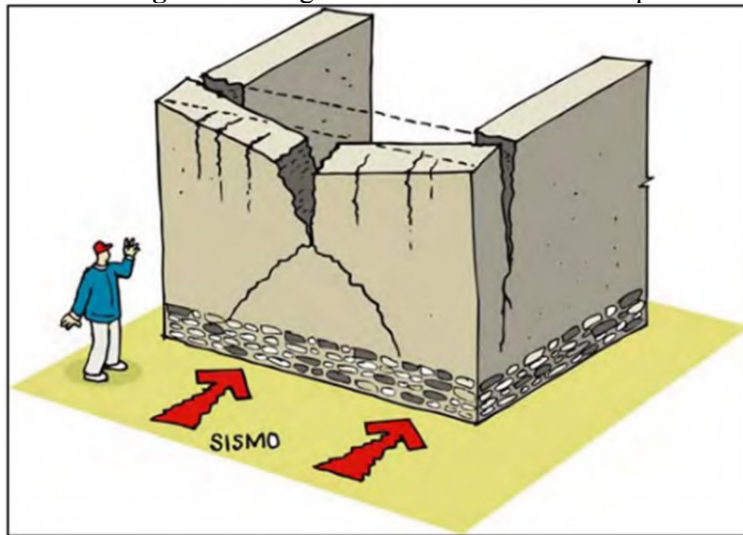
Figura 4. Imagen de referencia de Falla Tipo 1



Fuente: Tomado del Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. AIS, (2004)

TIPO 2: Esto se debe a la flexión perpendicular al muro, con grietas verticales en la zona central, grietas diagonales que forman el mecanismo de falla y grietas en la parte superior por falta de refuerzo y contención (Ver Figura 5).

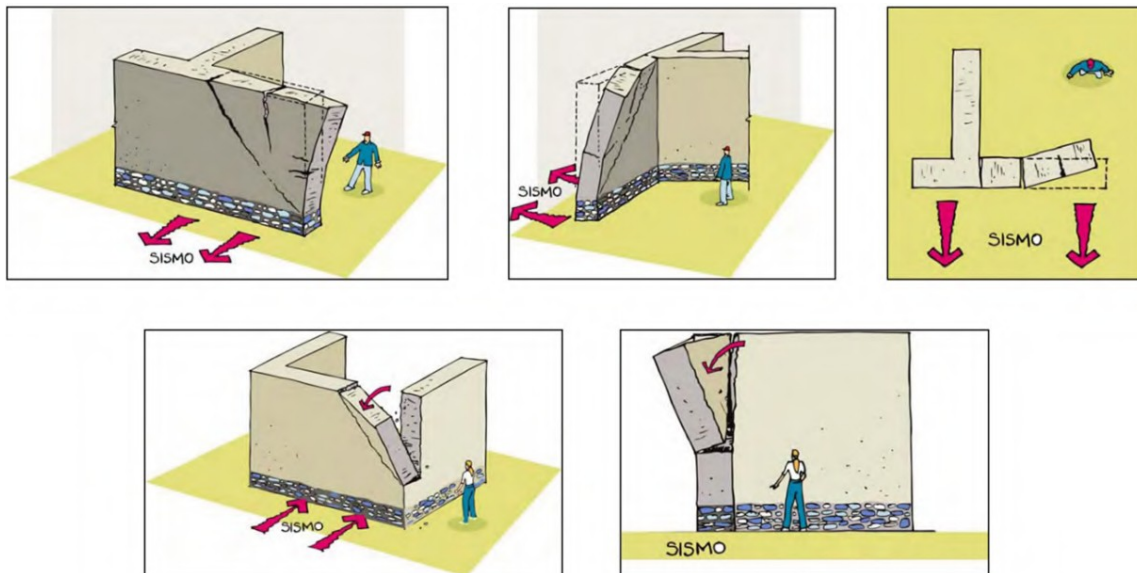
Figura 5. Imagen de referencia de Falla Tipo 2



Fuente: Tomado del Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. AIS, (2004)

TIPO 3: Se produce por flexionarse perpendicularmente al plano en la esquina no restringida del muro suelto, o por una esquina que no está conectada de manera efectiva con el muro lateral que lo restringe, en la Figura 6 se muestra este tipo de falla.

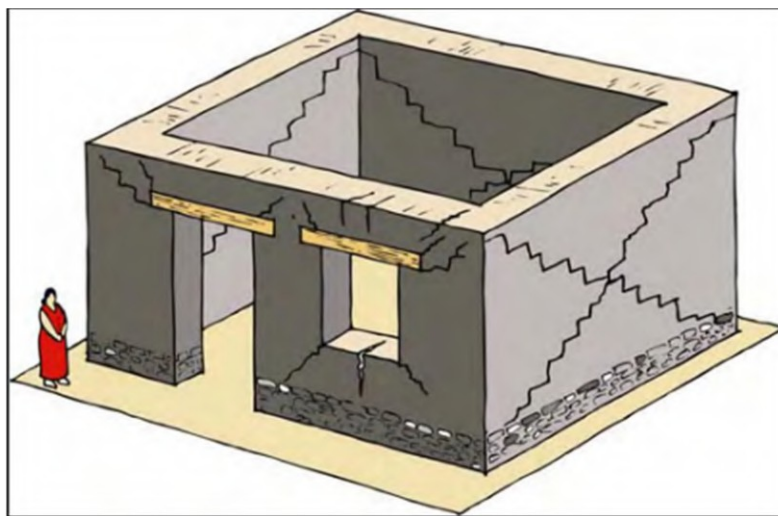
Figura 6. Imagen de referencia de Falla Tipo 3



Fuente: Tomado del Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. AIS, (2004)

TIPO 4: Producida por fuerzas cortantes en el plano de la pared asociadas a altos niveles de empuje. En la mayoría de los casos, estas grietas están asociadas a un entrepiso o techo muy pesado o sobrecargado, y se incrementan con las aberturas correspondientes a puertas y ventanas en las paredes.

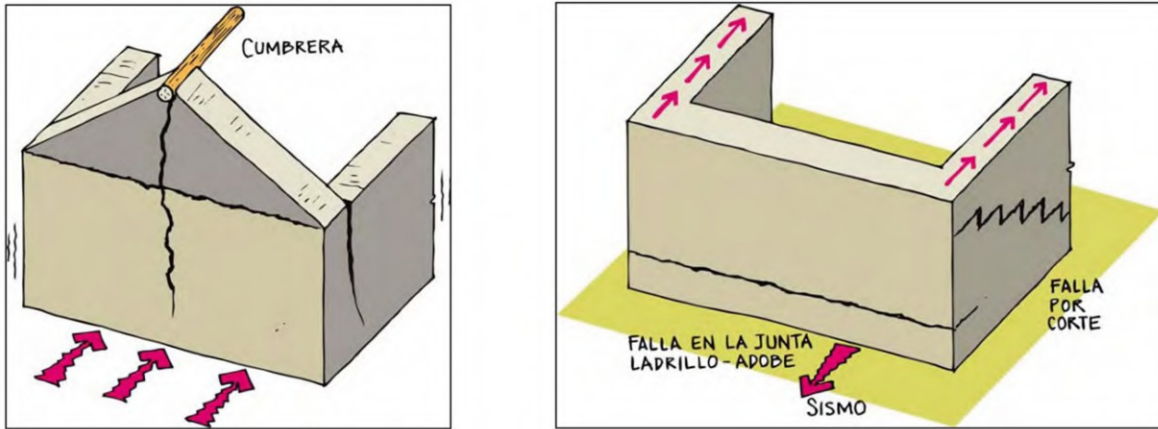
Figura 7. Imagen de referencia de Falla Tipo 4



Fuente: Tomado del Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. AIS, (2004)

TIPO 5: Conjunto de dos o más mecanismos mencionados anteriormente.

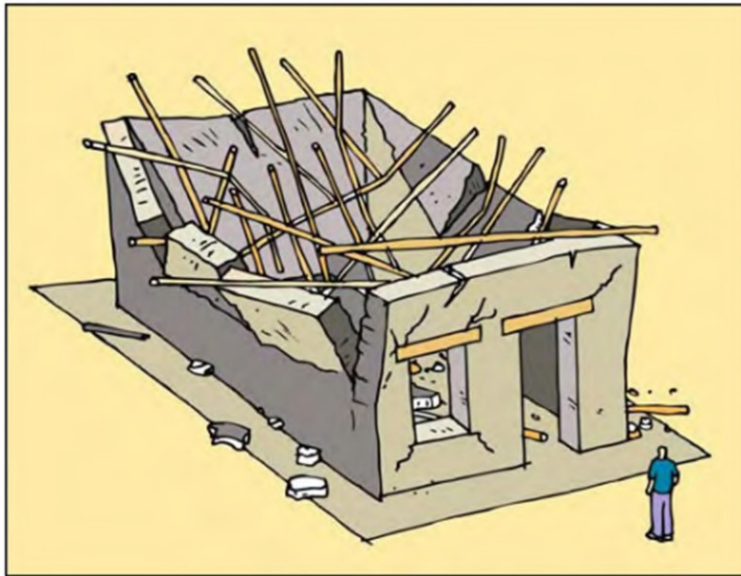
Figura 8. Imagen de referencia de Falla Tipo 5



Fuente: Tomado del Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. AIS, (2004)

TIPO 6: Esto ocurre cuando el techo cae dentro del edificio, debido a un mal soporte en la pared o la pared presenta algún defecto del tipo anterior.

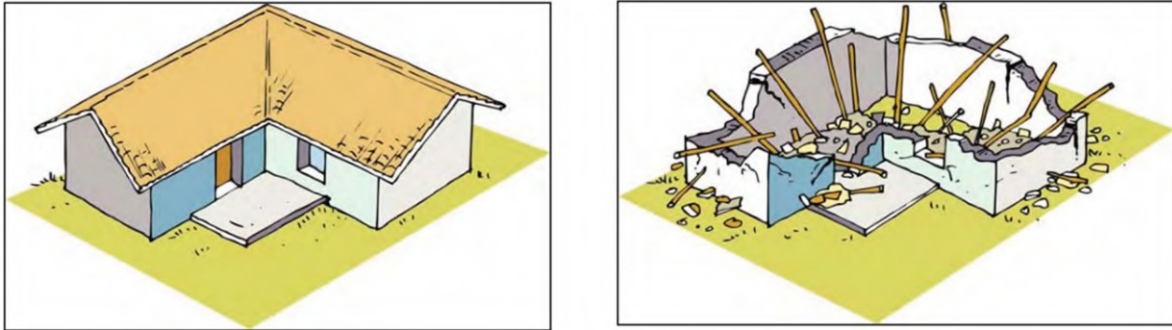
Figura 9. Imagen de referencia de Falla Tipo 6



Fuente: Tomado del Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. AIS, (2004)

TIPO 7: Los techos generalmente fallan debido a la falta de un soporte adecuado o una estructura deficiente. Por lo general, el techo se agrieta hacia el interior de la estructura, destruyendo así la parte superior del muro de carga.

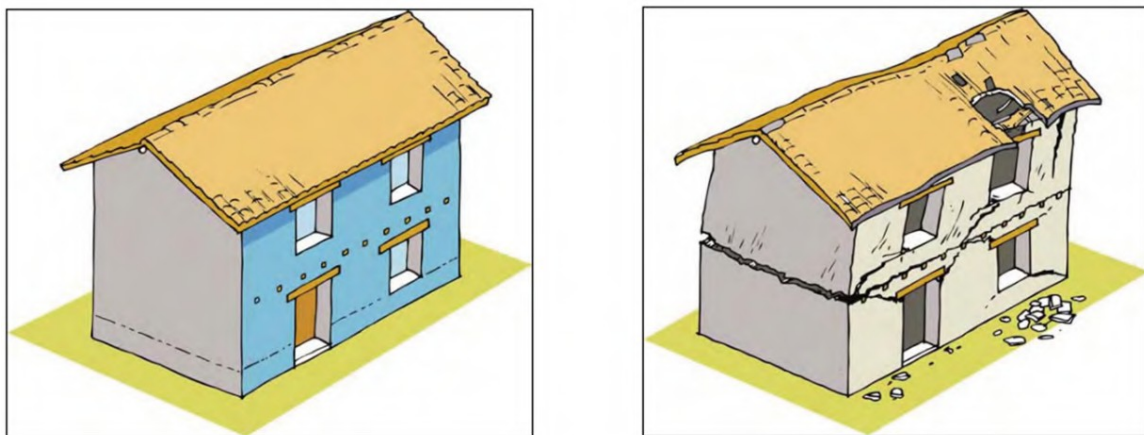
Figura 10. Imagen de referencia de Falla Tipo 7



Fuente: Tomado del Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. AIS, (2004)

TIPO 8: Esto sucede debido a la mala conexión entre las paredes del primer piso y las paredes del segundo piso. El entrepiso destruye el muro principal casi en horizontal, provocando la inestabilidad del segundo piso.

Figura 11. Imagen de referencia de Falla Tipo 7



Fuente: Tomado del Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. AIS, (2004)

5.2.4 Rehabilitación Sísmica

Existen muchas opciones para la reparación sísmica de estructuras de adobe y muros de rodadura, cuyo propósito es reducir la vulnerabilidad de la casa, pero, específicamente, el propósito es retrasar el colapso total o parcial tanto como sea posible en caso de un terremoto para encontrar una solución. Proteja la vida de los residentes y permita que la gente salga antes de que ocurra el colapso.

6 Diseño Metodológico

6.1 Alcance de la Investigación

A través de una investigación aplicada de corte exploratorio y descriptivo, se buscó identificar, compilar sistemas de reforzamiento estructural de muros de tapia pisada y adobe, a partir de investigaciones realizadas o desarrolladas en diferentes partes del mundo, por medio de búsqueda en la base de datos Scopus. El proyecto finaliza con el desarrollo de una forma de presentación sincrética para identificar los diferentes tipos de reforzamiento de un muro en tapia pisada y adobe.

6.2 Tipo de Investigación

El tipo de investigación es cualitativa porque se basa en la obtención de datos que no son cuantificables en base al principio de observación. Cuando se trata de este tipo de investigación, se puede decir que cualquier tipo de investigación produce descubrimientos que no se pueden obtener mediante procedimientos estadísticos u otras maneras cuantificables (Hernandez Sampieri et al., 2014). Cuando se habla de análisis cualitativo, se hace referencia al proceso de interpretación no matemática, cuyo propósito es descubrir los conceptos y las relaciones en los datos.

6.3 Procedimientos

La realización del proyecto se llevó a cabo en cuatro etapas: Planeación, Observación y Análisis.

6.3.1 Planeación

Antes de la realización de esta revisión fue necesario la planeación del proceso de búsqueda con el fin de precisar el dominio de la investigación, se hace imperativo el uso de ecuaciones de búsqueda que contengan términos específicos del tema a investigar, además,

se deben estudiar los patrones semánticos y de citación, determinar las principales investigaciones realizadas en el mundo para el tema específico. Se deben emplear criterios de selectividad de manera que el investigador se enfoque en los documentos que sean relevantes para la investigación (E. Gómez et al., 2014).

En la planificación se precisó el objetivo de la revisión, se realizó una matriz de artículos de investigación, teniendo en cuenta como fuentes principales de la base de datos, los trabajos de investigación desarrollados durante los últimos 10 años (2010 – 2020).

En la búsqueda de literatura gris se incluye todo tipo de documentos desarrollados y/o aplicados por las diferentes sociedades y asociaciones profesionales, donde se incluyen los términos clave a usar dentro de la ecuación de búsqueda, los criterios de inclusión y exclusión, los criterios de calidad, y los tipos de estudios a evaluar.

6.3.1.1 Términos Clave

Las palabras claves usadas dentro de la ecuación de búsqueda en las bases de datos son las que tienen relación con:

- Adobe
- Tapia Pisada
- Reforzamiento
- Sistemas
- Estructural
- Técnicas
- Métodos
- Alternativas

6.3.1.2 Criterios de inclusión

Los criterios de inclusión que se tuvieron en cuenta dentro de la revisión Bibliográfica fueron:

- Campos de búsqueda: Título, resumen y palabras claves, mencionen Adobe, tapia pisada y métodos de reforzamiento
- Periodo de la revisión bibliográfica: Todos los artículos desde el año 2010 hasta el año 2020.
- Idiomas: inglés y español.
- Tipos de documentos: Artículos y Tesis.

6.3.1.3 Criterios de exclusión

Los criterios de exclusión dentro de la revisión bibliográfica son:

- Aquellos documentos que no hagan referencia a evidencias en los estudios realizados acerca del tema de análisis.
- No se tienen en cuenta estudios teóricos y/o revisiones sistemáticas o de literatura

6.3.1.4 Criterios de calidad

Los documentos analizados debían cumplir con los siguientes criterios:

- Los documentos entre los años 2010 al 2020, deben haber sido citados al menos una vez.
- Solo se tomarán áreas de: Engineering (Ingeniería), Economía (Economía) y Social Sciences (Ciencias sociales)

6.3.2 Observación

La segunda parte del estudio es de tipo descriptiva y su propósito fue el de identificar y conocer el comportamiento estructural de muros de tapia pisada y adobe ante diferentes tipos de cargas. Los estudios descriptivos se centran en recolectar datos que describan la situación tal y como es.

6.3.2.1 Búsqueda de la Información

Una vez precisada la realización de la indagación de referencias, se hace necesario transformar los criterios de búsqueda en instrucciones entendibles para los buscadores de las bases de datos (Medina et al., 2010). Para ello se utiliza un lenguaje determinado esto mediante el uso de los operadores booleanos “AND” y “OR”, los cuales dentro de las palabras se busca que contenga todos los resultados posibles y para sus términos derivados deben contener al menos uno de los términos asociados.

Title: Adobe, Tapia Pisada, Tapia Tread, Estructuras de Adobe, Adobe structures, Tapia Tread structures

AND: Reforzamientos OR Reinforcements OR Reinforcement OR strengthen OR Beef up OR bolster

AND: systems, OR practice OR practicing OR activity OR process OR tool OR project, procedure OR practical OR application OR application OR method OR technique OR alternatives

AND: Structural OR structure OR build OR construction

Teniendo estructurada la ecuación de búsqueda se procede a realizar la prueba piloto dentro de las bases de datos para así llegar a la ecuación de búsqueda final (Ver Apéndice A, B y C). En esta prueba se realizó en Scopus una primera búsqueda general que arrojó 233 artículos en una segunda búsqueda en esa misma base de datos con filtros más enfocados

arrojo un total de 30 documentos inicialmente y para la base de datos Ebsco_Art & Architecture en la búsqueda arrojó 41 artículos.

6.3.2.2 Gestión y Filtro de los resultados de la búsqueda

En el proceso siguiente dentro del protocolo de investigación de gestión y depuración de los resultados, se aplicó el primer criterio de inclusión el cual se estableció como que el Título, resumen y palabras claves, mencionen Adobe, tapia pisada y métodos de reforzamiento. Mediante la aplicación de este proceso se incluyeron un total de 136 de los cuales 15 fueron excluidos por estar duplicados, lo que arrojó un total final para el análisis de 121 documentos.

6.3.3 Análisis

La tercera etapa del estudio tuvo como objetivo analizar la participación de los diferentes componentes de los muros de tapia pisada y adobe en su desempeño estructural y su respectiva clasificación; así como también identificar, conocer y describir las diferentes técnicas y/o alternativas utilizadas para el reforzamiento de muros de tapia pisada y adobe, desarrolladas y ensayadas en procesos de investigación. Esta fase de la revisión donde se realiza el análisis del contenido de los documentos finales a los cuales se les realiza una valoración y se depuran de acuerdo a los criterios de exclusión antes establecidos; de igual forma al realizar la búsqueda y descarga de los artículos para ser analizados no se encontraron disponibles 10 documentos. De acuerdo a esto finalmente se da el desarrollo de los objetivos propuestos.

6.3.4 Documentación

Finalmente se procede a desarrollar una forma de presentación sincrética para identificar los diferentes tipos de reforzamiento de un muro en tapia pisada y adobe, y que sirve como sustento para futuras investigaciones.

6.3 Instrumentos y Técnicas

La técnica de recolección de datos es de tipo cualitativo y es la Documentación Bibliográfica, los instrumentos son todos los Estudios de investigación relacionados con la propuesta de investigación y que aportaron al estudio de la temática. Los recursos utilizados para recolectar y registrar la información obtenida en cada una de las actividades desarrolladas dentro del cronograma permitieron observar analizar y desarrollar la presentación de los objetivos.

6.3.1 Fases De la revisión bibliográfica

A continuación se especifican las distintas fases necesarias que se realizaron en el proceso de búsqueda de bibliografía en el que se detalla claramente las actividades a realizar dentro del proceso de revisión.

Figura 12. Fases de la revisión Bibliográfica



Fuente: Tomado de: Una propuesta metodológica para la realización de búsquedas sistemáticas de bibliografía. Medina, Marin,& Alfalla, (2010)

- 1. Identificación del campo de estudio y del período a analizar:** en primera instancia se identificó el campo de estudio que se buscaba analizar, en este caso los sistemas de reforzamiento estructural de muros de tapia pisada y adobe, se realizó el análisis de investigaciones de los últimos 10 años. El objetivo fue el de establecer los métodos y sistemas de reforzamiento estructural de muros de tapia pisada y adobe utilizados, a través de un estudio bibliométrico de información científica
- 2. Selección de las fuentes de información:** teniendo en cuenta las características de la investigación que se desarrolló, una revisión de bibliografía, las fuentes utilizadas fueron de tipo secundario. Estas fueron revistas, artículos, tesis de grado etc...
- 3. Realización de la búsqueda:** se estableció la estrategia de búsqueda, luego de aplicar las dos primeras fases, se determinaron los criterios de búsqueda empleados, esto mediante una prueba piloto dentro de la base de datos Scopus y Ebsco_Art &

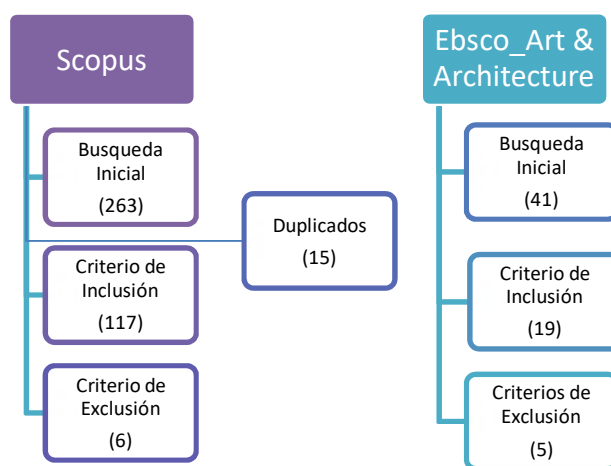
Architecture, en la cual se incorporó la ecuación de búsqueda formulada y se verificaron los resultados.

4. **Gestión y Filtro de los resultados de la búsqueda:** hacer un registro del número de artículos obtenidos y los que quedaron luego de aplicar los criterios de selección así como información que se consideró relevante. Este proceso de filtrar la búsqueda se desarrolló en tres fases: a). clasificar las referencias encontradas b). Analizar falsos positivos c. Identificar y analizar falsos negativos.
5. **Análisis de los resultados:** revisar y analizar la documentación seleccionada, mediante la realización de un análisis crítico y sistemática de estos. Previamente para la realización de dicho análisis se estableció una ficha de revisión bibliográfica, en la cual se consignaron los aspectos más importantes y en relación a la investigación.

7 Resultados

Esta investigación se realizó haciendo uso de la base de datos Scopus y la base de datos Ebsco_Art & Architecture, luego de eliminar los documentos que no cumplieran los criterios de inclusión tales como el de campo de búsqueda, el periodo de revisión y el tipo de documento quedaron para análisis 301 documentos, de los cuales 15 eran duplicados, lo que arrojó una muestra final de 286 artículos. Posteriormente se hizo este análisis para aplicar el criterio de inclusión el cual el título o palabras claves del texto mencionen Adobe, tapia pisada y métodos de reforzamiento, este se hizo con los 286 estudios, al aplicar este primer criterio quedaron un total de 136 documentos. Finalmente, al leer el resumen del texto no se encontrara evidencia acerca del estudio realizado o que su nivel de evidencia no fuera significativo para la investigación arrojó como resultado 11 investigaciones seleccionados para la revisión Bibliográfica, así como también la inclusión de bibliografía adicional con información de gran importancia para la investigación para un total de 28 Documentos.

Figura 13. Revisión de la Literatura, criterios de inclusión y exclusión



Fuente: Elaboración Propia

7.1 Resultado de la Búsqueda y Revisión

De los artículos seleccionados se extrajeron inicialmente, año y lugar de publicación, grupo de investigación o Universidad que desarrollo la investigación y una idea general del documento o sus objetivos.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra los países donde se han realizado publicaciones acerca del tema de investigación, en los cuales destaca Colombia como el país donde más estudios se han desarrollado, de los 28 artículos del análisis final, Colombia apporto 10, lo que corresponde al 35% del total.

Figura 14. País de Publicación

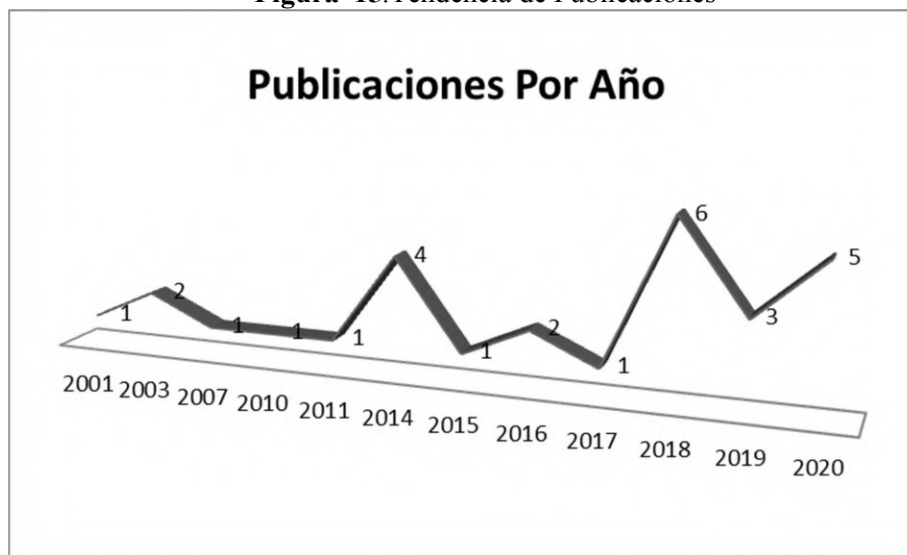


Fuente: Elaboración Propia

En la última década se han realizado estudios en busca de soluciones efectivas en cuanto a construcciones sostenibles, es por esto que los sistemas constructivos con adobe y tapia pisada han venido en aumento, y la búsqueda de las mejoras de estos se ha convertido en un gran tema de investigación; así como y la conservación y recuperación de este tipo de estructuras que en algunos países representan un gran patrimonio cultural. En la **¡Error! No**

se encuentra el origen de la referencia. se evidencia la tendencia en años respecto al número de publicaciones, como se muestra existe un mayor interés en dicha problemática a partir del año 2018 donde se concentran el 50% de los artículos del total de la muestra analizada. Esta tendencia indica que la problemática causada por las construcciones tradicionales viene en un aumento constante y la búsqueda de alternativas de construcción sostenible se ha convertido en un tema de interés para todos los actores de la construcción.

Figura 15.Tendencia de Publicaciones



Fuente: Elaboración Propia

De los artículos analizados de la muestra final se sustrajo inicialmente, año y lugar de publicación, grupo de investigación o Universidad que desarrollo la investigación y una idea general del documento o sus objetivos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**):

Tabla 1. Características de los estudios seleccionados para la Revisión.

Título	País	Año	Grupo Investigación	Idea General Sistema
Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada	Colombia	2007	Universidad de los Andes	Se presentan diferentes alternativas para la rehabilitación y refuerzo de construcciones de adobe y tapia pisada (Yamín Lacouture et al., 2007)
Comportamiento sísmico y alternativas de rehabilitación de edificaciones en adobe y tapia pisada con base en modelos a escala reducida ensayados en mesa vibratoria	Colombia	2003	Universidad de los Andes	Plantear alternativas de rehabilitación sísmica acordes con las características y entorno de este tipo de construcciones en Colombia (Yamin et al., 2003)
Rehabilitación sísmica de muros de adobe de edificaciones monumentales mediante tensores de acero	Colombia	2003	Grupo de Investigación en Materiales y Estructuras	Investigación de los sistemas constructivos de los monumentos históricos de los Andes colombianos para su rehabilitación (Yamin et al., 2003)
Construcción de casas saludables y sismorresistentes de ADOBE REFORZADO con geomallas	Perú	2007	Pontificia Universidad Católica del Perú	Refuerzo sísmico con geomalla de las edificaciones de adobe (Vargas et al., 2007)
Adobe and Timber Ties as Main Construction Materials for an Historic Greek Dwelling.	Grecia	2010	National Technical University of Athen	Examina un sistema de construcción compuesto relativo a una vivienda histórica griega. Se discuten diversos aspectos de las intervenciones propuestas en la actualidad ilustrando la restauración posterior basada en el análisis arquitectónico y estructural de la vivienda y sus métodos constructivos (Vissilia & Villi, 2010)
En la rehabilitación de la arquitectura en adobe incide la huella del objeto valorado desde la perspectiva del patrimonio cultural en el centro antiguo de Villavicencio: puntualizando procedimientos	Colombia	2011	Corporación Universitaria del Meta	Se parte del estudio de lo construido para rehabilitar, luego de haber documentado las patologías e intervenciones presentes en las edificaciones objeto de estudio (Díaz, 2011)
Reinforcement of adobe constructions with toad rush mesh	Perú	2014	Centro de Estudios para Comunidades Saludables, Universidad Ricardo Palma	Se estudia un material natural de fácil adquisición: el junco (<i>Juncus bufonius</i> L.) es una planta que crece en zonas húmedas del país, entre 0 y 4 000 AMSL, con el fin de abordar su uso como refuerzo en los muros de adobe, con base en propuestas estructurales aprobadas en Perú. (Méndez et al., 2014)
Fabric Reinforcement for Improved Toughness of Adobe Block Wall Systems	USA	2014	Universidad de San Francisco y Universidad de California	Investiga un método de refuerzo económico, pero potencialmente muy eficaz para sistemas de paredes de bloques de adobe. Se incrustaron materiales de refuerzo en el mortero entre cada capa de bloques para proporcionar una barrera contra la propagación de las grietas diagonales (Böttger & Ostertag, 2014)
Título	País	Año	Grupo Investigación	Idea General Sistema

Desempeño Sísmico de Casas Consistoriales en Tapia Pisada Con y Sin Refuerzo en Maderas de Confinamiento	Colombia	2014	Pontificia Universidad Javeriana	Rehabilitación de estructuras de tapia pisada con madera de confinamiento. Estudio del desempeño sísmico (Cerón & Silva, 2014)
Evaluation of Mechanical Properties of Adobe Chemically Stabilized with "Synthetic Termite Saliva"	Brasil	2014	Universidad Federal de Lavras	Incorporación de saliva de las termitas en la composición del adobe (Corrêa et al., 2014)
Refuerzo sísmico de mallas de sogas sintéticas para construcciones de adobe	Perú	2015	Pontificia Universidad Católica del Perú	Nueva técnica de refuerzo sísmico que utiliza mallas externas de drizas (sogas sintéticas), accesibles en las zonas rurales
The properties of potassium silicate/ fly ash slurry used in the conservation of adobe structures.	China	2016	Laboratorio clave de mecánica sobre el medio ambiente y los desastres en China occidental, y Escuela de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad de Lanzhou, Lanzhou (China). Centro Nacional de Investigación para la Conservación de Pinturas Murales Antiguas y Sitios de Tierra, Academia de Dunhuang, Dunhuang, China, Escuela de Patrimonio Cultural, Universidad del Noroeste	Estudio sistemático para evaluar la compatibilidad del uso de lechada de PS-F (silicato de potasio con alto módulo - cenizas volantes) en la conservación de estructuras de adobe (Zhang et al., 2017)
Seismic rehabilitation of rammed-earth heritage buildings: Study case of doctrinal churches reinforced with metallic mesh and confinement wooden elements [Rehabilitación sísmica de edificaciones históricas en tapia pisada: Estudio de caso de capillas doctrineras reforzadas con malla de acero y madera de confinamiento]	Colombia	2016	Pontificia Universidad Javeriana	Resultados de ensayos en mesa vibratoria de modelos a escala 1:50 de capillas de adoctrinamiento en tapia pisada construidas en los siglos xvi al xviii en Colombia (V. Gómez et al., 2016)
Performance Analysis of Wooden Reinforcement in Rammed Earth Walls	España	2017	Periódica Politécnica de Ingeniería Civil	Uniones perpendiculares de los muros de tierra apisonada, es por ello que, tras una breve descripción del sistema de refuerzo, se desarrollan sus ventajas y consecuencias, frente a otros sistemas de refuerzo (Anguloz, 2017).
Seismic behavior of two Portuguese adobe buildings: part II —numerical modeling and fragility assessment.	Portugal	2018	Scuola Universitaria Superiore IUSS Pavia, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Oporto, Departamento de Ingeniería Civil y CONSTRUCT-LESEPorto, Portugal	Proporcionar una caracterización de la fragilidad sísmica de dos edificios tradicionales portugueses de adobe, utilizando modelos numéricos calibrados sobre resultados experimentales (Sarchi et al., 2018)
Título	País	Año	Grupo Investigación	Idea General Sistema

Seismic behavior of two Portuguese adobe buildings: Part I - in-plane cyclic testing of a full-scale adobe wall	Portugal	2018	Scuola Universitaria Superiore IUSS Pavia, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Oporto, Departamento de Ingeniería Civil y CONSTRUCT-LESEPorto, Portugal	Pruebas de laboratorio de un muro de adobe en forma de doble T a escala real, bajo carga cíclica horizontal en plano de amplitud creciente, con el objetivo de contribuir a la comprensión del comportamiento sísmico de las estructuras de adobe (Silveira et al., 2018)
Refuerzo estructural en viviendas de adobe	Argentina	2018	CIRCOT-FI-UNSJ; CeReDeTeC-UTN-Facultad Regional Mendoza	Reforzar la estructura de viviendas de adobe, atendiendo a la realidad socioeconómica de los usuarios y a la sismicidad de la zona en la que están emplazadas (Martínez et al., 2018)
Enfoque para el análisis estructural y protección sísmica de edificaciones patrimoniales, a partir de la caracterización de sus particularidades técnicas.	Colombia	2018	Universidad Nacional de Colombia	Estudió de un grupo de iglesias de doctrina del Altiplano Cundiboyacense colombiano (1579-1616) para comprender el comportamiento y formular propuestas de intervención basadas en sus propios principios estructurales (Chica & Fuertes, 2018)
Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la tapia en Pasto (Nariño, Colombia). Caso Teatro Imperial - Ingeniería y Patrimonio	Colombia	2018	Universidad de Nariño	Evaluación estática y dinámica de los materiales a la luz de las estructuras, para determinar la vulnerabilidad sísmica de la tapia (Castillo et al., 2018)
Análisis del comportamiento estructural de la técnica vernácula de muros en tapia pisada con inclusión de caña brava	Colombia	2018	Universidad Pontificia Bolivariana	Adición de caña brava en la compactación de la tapia pisada con el fin de mejorar su comportamiento estructural (Núñez & Mejía, 2018)
Vibration-Based Damage Detection in Historical Adobe Structures: Laboratory and Field Applications.	Perú	2019	Ingeniería y Patrimonio de la PUCP en colaboración con los Departamentos de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile y la Universidad del Minho	Monitoreo de Salud Estructural (SHM) como herramienta fundamental para detectar daños en etapas tempranas en estructuras de ingeniería civil existentes de adobe (Aguilar et al., 2019)
Application of Shape Memory Alloys in Historical Constructions.	Italia	2019	Escuela de Ingeniería, Universidad de Basilicata, Potenza (Italia); CETMA, Centro Europeo de Investigación de Materiales y Diseño de Tecnologías	Propuesta de un prototipo de dispositivo, basado en las propiedades súper elásticas de las aleaciones con memoria de forma (SMA), para mejorar el comportamiento térmico y sísmico de los tirantes de acero y la aplicación de este a una estructura histórica de un solo pasillo, realizada en el siglo XIII en Brindisi (sur de Italia) (Cardone et al., 2019)
Performance and working mechanism of tension-compression composite anchorage system for earthen heritage sites	China	2019	Centro Occidental de Mitigación de Desastres en Ingeniería Civil del Ministerio de Educación de China	Propone un nuevo tipo de sistema de anclaje compuesto de tracción-compresión (sistema de anclaje TC) totalmente cementado, que está compuesto por un sistema de soporte de presión con el mismo diámetro del agujero de anclaje en el extremo del perno de tensión (Wang et al., 2019)
Título	País	Año	Grupo Investigación	Idea General Sistema

Thermomechanical characterization and durability of adobes reinforced with millet waste fibers (sorghum bicolor)	Camerún	2020	Departamento de Energía Renovable, Escuela Nacional Superior de Ingeniería de Maroua, Universidad de Maroua; Departamento de Ingeniería Energética, Instituto Universitario de Tecnología, Universidad de Ngaoundere; Instituto Universitario de Tecnología de la Madera, Universidad de Yaoundé I; Agencia de Promoción de Materiales Locales	Fabricación de adobes formulados a partir de fibras de mijo rojo para la construcción de casas (Babé et al., 2020)
Experimental investigation on axially loaded adobe masonry columns confined by polymeric straps	Irán	2020	Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica K. N. Toosi	Columnas de adobe escalonadas fueron envueltas con tiras de polipropileno (PP), que son materiales poliméricos de baja resistencia y bajo costo, y se probaron bajo compresión uniaxial (Nasrollahzadeh & Zare, 2020)
Adobe bricks reinforced with paper & pulp wastes improving thermal and mechanical properties	España	2020	Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chile; Departamento de Obras Civiles, Universidad de la Frontera, Francisco Salazar; Universidad Internacional de La Rioja, Grupo de Investigación INeS	Evaluación de adobe reforzado con residuos de la industria de papel y celulosa (PPR) con el objetivo de demostrar la factibilidad de este material de construcción (Muñoz et al., 2020)
Experimental analysis of timber inclusions effect on parasismic behavior of earth masonry walls	Francia	2020	Laboratorio de Materiales y Durabilidad de la Construcción (LMDC)	Evaluación sísmica y la comprensión de un sistema de carga tradicional que incorpora elementos de madera horizontales en muros de mampostería de ladrillos de tierra (Aranguren et al., 2020)
Seismic behaviour of rammed earth buildings reinforced with wood elements and an upper concrete beam [Comportamiento sísmico de edificaciones de tapia pisada reforzadas con marcos de madera y viga de coronación en concreto]	Colombia	2020	Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)	Estrategia integrada que consiste en un refuerzo externo con elementos de madera en ambas direcciones y en ambos lados de los muros (en tapia pisada) simultáneamente con la implementación de un diafragma rígido por medio de una viga de coronación en concreto (López P. et al., 2020)

Fuente: Elaboración Propia

7.2 Proceso Constructivos

7.2.1 Tapia Pisada

A continuación, se va a describir el proceso constructivo de la tapia tradicional y en la

Figura 1 se muestra parte del proceso (AIS, 2004):

- Inicialmente se recolecta la tierra, la cual se debe picar para deshacer grumos que contenga en el material.
- Luego se procede a nivelar el terreno, y a continuación se construye una cimentación de hormigón o piedra, la cual soporte la carga ejercida por la estructura.
- Posteriormente se continúa armando el tapial, a través del proceso de encofrado, se utilizan plantillas en forma de L y T en las esquinas.
- Inmediatamente se hacen capas de tierra compactada de 0.10 m, hasta alcanzar la altura de la sección utilizando una herramienta llamada pisón.
- Se apisona con un pilón o pisón (que puede tener dos mangos) clavados a un gran trozo de madera
- Luego se retiran las plantillas, plean el extremo del muro en un plano inclinado y corrigen el muro.
- Por último, se procede a desplazar el tapial horizontalmente para continuar con el acho de la pared y después verticalmente para alcanzar la altura. Los muros terminados se protegen de la lluvia o del secado demasiado rápido, con paja o plástico

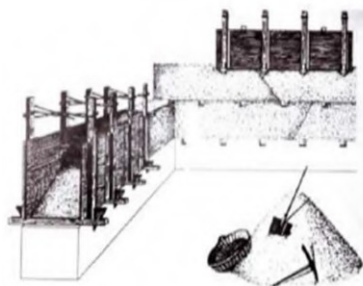


Figura 1. Proceso de Construcción de Tapia Pisada

Fuente: Tomado de “CONSTRUCCIÓN DE MUROS EN TAPIA Y BAHAREQUE” (SENA, 2010)

7.2.2 Adobe

A continuación, se va a describir el proceso constructivo del Adobe Tradicional y en la Figura 2 se muestra parte de este proceso (AIS, 2004):

- Inicialmente se recolecta la tierra, la cual se debe picar para deshacer grumos que contenga en el material.
- Luego se humedece la tierra para formar una textura barrosa
- Posteriormente colocar la arcilla en un molde de madera del tamaño deseado en una posición cercana a la plasticidad.
- Después de unos días, una vez que el secado se contrae, se quita el moho y el adobe se seca al aire libre durante 15 días a un mes sin luz solar directa.
- Para su almacenamiento se tapan con lonas de plástico
- Para la construcción del muro, se hace el pegamento, siempre que brinde buena cohesión, se hace del suelo del terreno. Si la cohesión no es suficiente, se agrega cal. En algunos casos, también se puede agregar paja al mortero para aumentar su resistencia a la tracción.

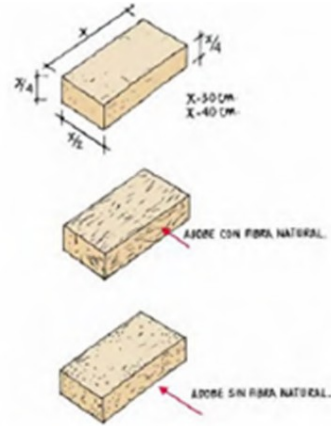


Figura 2. Proceso de Construcción del Adobe
Fuente: Tomado de “Manual de Rehabilitación de Viviendas Construidas en Adobe Y Tapia Pisada (AIS, 2004)

7.3 Comportamiento Estructural de Muros de Tapia Pisada y Adobe Tradicional Ante Diferentes Tipos de Cargas

El comportamiento estructural de los diferentes sistemas constructivos con adobe y tierra pisada varía de acuerdo con la ubicación geográfica de estos debido a las diferentes composiciones de la tierra y los agregados usados para fortalecer su resistencia mecánica.

En este análisis se busca conocer el comportamiento estructural de los sistemas constructivos de adobe y Tapia pisada de acuerdo con la resistencia de estos a cargas ejercidas ya sea de tipo y las respuestas estructurales que muestra frente a estas cargas (Esfuerzos, deformaciones, tensiones etc....). Teniendo en cuenta lo anterior, se expondrá el comportamiento de estas estructuras de acuerdo con el país donde se realiza y teniendo en cuenta los tipos de cargas ejercidas.

7.3.1 Muros de Tapia Pisada

Para el caso de la tapia pisada y de acuerdo con diversos autores, el comportamiento de estas estructuras depende de diferentes variables que son propiamente del lugar de la

construcción tales como los tipos de materiales utilizados para su construcción, el sistema con el cual se desarrolla la construcción, la sísmica de la zona y las características típicas del ambiente en el cual se realiza. Según Castillo et al. (2018) *“El análisis de una estructura en tapia se puede realizar en el rango lineal y no lineal, es decir, que el sistema estructural puede trabajar en el rango elástico e inelástico. Esto significa que se puede llevar a cabo el análisis no lineal cuando no cumple con la ley de Hooke, ya que las cargas causan relajación de la rigidez, y al suspenderlas no se recupera el estado inicial de equilibrio”* (p.85). En este tipo de análisis no lineal para los muros de tapia pisada involucra la definición de la falla en la estructura; debido a lo antes mencionado, en este sentido en el estudio realizado por estos mismos autores se analizó la capacidad de agrietamiento de la pared de ladrillos, incluidos tres casos de mecánica de fractura estructural: la aparición de la grieta; la grieta alcanzó la mitad de la pared; la grieta afectó a las tres cuartas partes y finalmente colapsó. El análisis lineal proporciona ideas claras para el comportamiento de fuerzas y tensiones (Castillo et al., 2018).

7.3.1.1 Comportamiento estructural Frente a la Compresión (Axial y Uniaxial), Tracción y Tensión

Los elementos estructurales que constituyen una construcción en tapia según ensayos realizados por (V. Gómez et al., 2016) presentan ante comportamiento de la acción de compresión y tracción diagonal un comportamiento lineal y elástico. De igual manera establecen que los esfuerzos a compresión dependen de la densidad del material (contenido óptimo de humedad y de la relación de vacíos (p. 57)

Para el caso de Wang et al., (2019) al realizar pruebas de un anclaje in situ de sistemas de anclaje en T y los sistemas anclaje TC (sistema de reforzamiento propuesto) para muros de tapia pisada, la prueba de extracción y la monitorización tensión-deformación

interfacial, en el análisis preliminar y la comparación de la estructura y el mecanismo de trabajo de los dos sistemas de anclaje de esfuerzos en este tipo de estructuras hallaron que desde el punto de vista de la fuerza de unión de la interfaz perno-lechada en toda la sección de tensión, la unión se debilita en el extremo delantero del anclaje y sigue retrocediendo, lo que puede demostrarse por el fenómeno de que la deformación aumenta en la parte delantera el extremo de la longitud de empotramiento es pequeño, el incremento en el extremo posterior es grande y la ubicación del pico de tensión se mueve hacia atrás. En segundo lugar, la formación de lechada cónica: después de que se alcanza el valor máximo de fricción estática en la sección de tensión, si la carga continúa aumentando, el cuerpo que soporta presión comenzará a moverse hacia adelante. La lechada frente al cuerpo que soporta la presión comienza a producir una superficie cónica de corte local bajo la restricción de la pared del orificio y la compresión constante de la placa de apoyo. Finalmente, la lechada cortada y el cuerpo que soporta presión forman una expansión.

Para evaluar el comportamiento estructural frente a cargas uniaxiales en la Universidad Javeriana V. Gómez et al., (2016) desarrollaron pruebas a estructuras reforzadas con maderas de confinamiento y energía reforzamiento con malla y mortero de cal. En el modelo reforzado con malla metálica, la integridad estructural se mantiene y la base central, en general, no presenta mayor afectación. En resumen, solo aparecieron seis grietas importantes en todo el modelo, sin colapso. En la zona izquierda aparece una fisura vertical entre los contrafuertes, que pasa por un pequeño orificio de ventana, en la zona frontal; de igual forma, el arco de paso principal también tiene una fisura vertical. Apareció una grieta entre la capilla de la derecha y el muro del fondo debido a la tensión generada en la unión de los muros. En el muro interior de la capilla de la derecha, hay fisuras y fisuras

diagonales en los dos arcos por esfuerzo cortante. Por su parte, en el modelo reforzado con madera de contención, las grietas eran mucho más pequeñas que las grietas que aparecieron en la prueba del modelo reforzado con rejillas.

7.3.1.2 Comportamiento estructural para eventos sísmicos de Construcciones Patrimoniales en Colombia

Para el caso de Colombia cierta cantidad de estudios han realizado análisis estructural de estos sistemas constructivos debido a la cantidad de edificaciones patrimoniales heredadas por nuestros antepasados y que tienen un gran valor cultural. Debido a esto desde el año 2001 diferentes Universidades del País vienen adelantando investigaciones con el fin de crear estrategias que puedan contribuir en la rehabilitación estructural de estas edificaciones sin dañar su naturalidad y en pro de la conservación neta de la historia que es la que le da el valor como patrimonio arquitectónico. A continuación, se evidencian los diferentes ensayos sísmicos realizados para conocer el comportamiento estructural de las diferentes edificaciones patrimoniales de Colombia.

En la Universidad de los Andes entre el año 2001 y 2003 se desarrollaron dos investigaciones las cuales la primera se trataba de un estudio de vulnerabilidad sísmica y rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada, y la segunda una evaluación del comportamiento sísmico y alternativas de rehabilitación de edificaciones de este mismo sistema constructivo basados en modelos a escala, estos estudios dieron como resultado del análisis del comportamiento estructural:

- i) Determinaron que un edificio de dos pisos construido con un sistema de construcción en tierra es más vulnerable a las fuerzas horizontales causadas por un terremoto (Ver Figura 7) (Yamín et al., 2001).

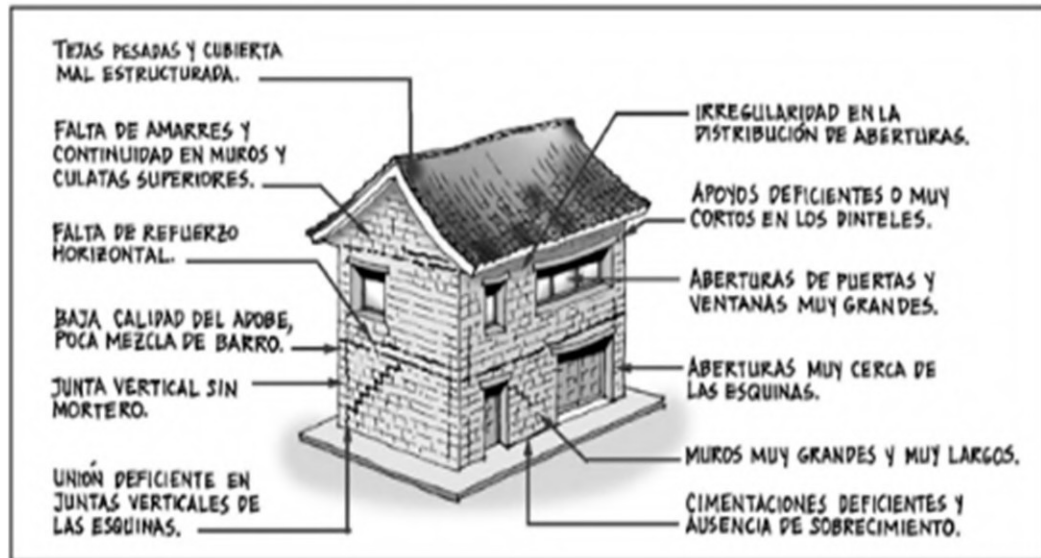


Figura 3. Deficiencias Estructurales de las edificaciones
Fuente: Yamín et al.(2007)

- ii) La falla es causada por la falta de conexiones integrales entre los bloques estructurales, estas conexiones se separan fácilmente debido a que las fisuras suelen ocurrir desde las esquinas o puntos donde se concentra la tensión hasta la apertura de la puerta o ventana (Yamin et al., 2003).

Prueba No	Escala		Desp. máximo (mm)	Acel. máx. en la base (g)	Observaciones	Fotografía de la falla
	% de Tiempo	% de Desp.				
1	20%	1%	0.37	0.05	No daño	
2	20%	5%	1.85	0.25	Fisuras muy pequeñas	
3	20%	10%	3.70	0.50	Fisuras claramente definidas	
4	20%	15%	5.55	0.75	Desarrollo del sistema de fisuras	
5	20%	20%	7.40	1.00	Aumento del tamaño de fisuras	
6	20%	25%	9.25	1.25	Desprendimiento de bloques pequeños	
7	20%	35%	12.95	1.75	Desprendimiento de bloques considerables	
8	20%	40%	14.80	2.00	Caída de cerca del 50% de muros	
9	20%	40%	14.80	2.00	Perdida de mas del 60% de muros	
10	20%	40%	14.80	2.00	Colapso de la edificación por falta de apoyo	

Figura 4 Secuencia de ensayo y comportamiento de la estructura
Fuente: Yamin et al. (2003)

En el año 2014 en la Pontificia Universidad Javeriana se desarrolló una evaluación del desempeño sísmico de casas de Tapia Pisada con y sin refuerzo en maderas de confinamiento, el análisis del comportamiento estructural de este ensayo mostro que varios colapsos son causados por el esfuerzo de tracción, el esfuerzo de flexión y el esfuerzo cortante de la estructura (Ver Figura 10) . Esto muestra la vulnerabilidad sísmica estructural de este tipo de construcciones, que se debe al deterioro de las propiedades mecánicas de estas estructuras, lo que debilita su capacidad para resistir fuerzas externas (Cerón & Silva, 2014).

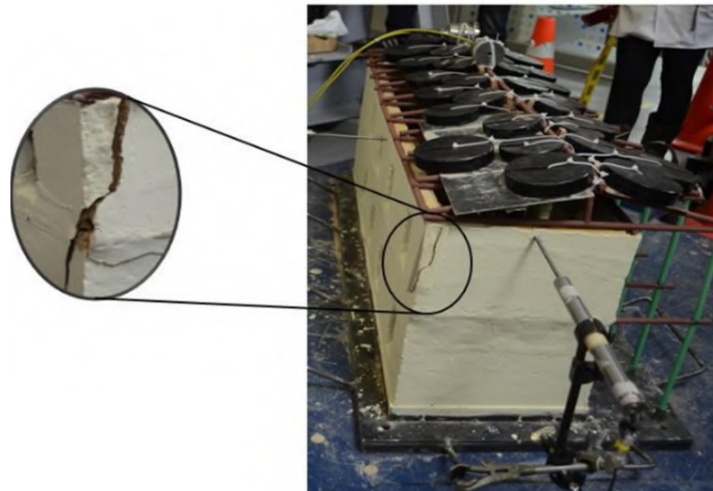


Figura 5. Cargas aplicadas y Respuesta inicial al sismo
Fuente: Cerón & Silva (2014)

A partir del método de caracterización de las particularidades técnicas de las edificaciones culturales, se realiza el análisis estructural y la protección sísmica estas, se desarrolló en el año 2018 en la Universidad Nacional de Colombia una investigación, la cual arrojo como resultados que la fuerza de tracción generada degrada la sección transversal del muro y reduce la resistencia a la compresión. Cuando se enfrenta a una tensión sísmica pequeña, el valor A_e se hace más evidente cuando el valor es inferior a

0,10; excede la capacidad portante del material y aumenta la sobrecarga. -Tasa de deformación. En la Figura 11 se muestran los índices de sobre-esfuerzo para los dos tipos de sistemas constructivos con tierra (Chica & Fuertes, 2018).

Material	Tapia (6 kg/cm)	Adobe (12 kg/cm)
Ae	Indice	Indice
	Tapia	Adobe
0.10	11.34	6.95
0.15	16.92	10.40
0.20	22.47	13.81
0.25	28.10	17.27
0.30	33.66	20.68

Figura 6. Índices de Sobre-esfuerzo
Fuente: Chica & Fuertes (2018)

En términos generales y en lo que coinciden los diferentes autores es que el fallo estructural de este tipo de sistemas constructivos, son generados inicialmente debido a la fractura y caída de las espadañas, lo que genera posteriormente, debido al apalancamiento longitudinal de la estructura del techo, se pierde la estabilidad del muro de encofrado superior y se rompe la membrana timpánica del muro de cierre y la fachada (Chica & Fuertes, 2018).

7.3.2 Muros de Adobe Tradicional

Según Vissilia & Villi (2010) El comportamiento estructural de los muros de adobe depende de las propiedades estructurales de los ladrillos de adobe: i) la calidad de la

unidad de adobe, tipo de unión del mortero, y las formas de colocar las unidades; ii) Su posición, disposición, conexión e interacción con el soporte y elementos no portadores, incluyendo la posición y construcción de las aberturas, el tipo, disposición y colocación de los pisos y la estructura del techo y lo más importante aún, sus detalles constructivos específicos; iii) Sus características geométricas específicas; y iv) Su posición relativa en relación con la principal dirección horizontal de las fuerzas del sismo.

7.3.2.1 Comportamiento estructural Frente a la Compresión (Axial y Uniaxial), Tracción y Tensión

Aranguren et al., (2020) con el fin de analizar el comportamiento de la estructura (rigidez, plasticidad, resistencia, patrón de grietas) y estimar la carga vertical que debe aplicarse a los elementos de la pared de cizallamiento durante la prueba cuasiestática se aplicaron cargas de compresión uniaxial cuasiestática a un muro de adobe que incorporan elementos de madera horizontales. La resistencia a la compresión y el módulo de Young de la mampostería se determinaron de acuerdo con la norma EN 1052-1. Entre los principales hallazgos resaltan que el fallo del muro reforzado se caracterizó por la propagación de grietas diagonales en las esquinas inferiores al principio de la prueba, seguida de la formación de una grieta horizontal debajo de la inserción y la aparición de una superficie deslizante entre la parte superior e inferior del muro. Se observó que se desarrollaron muy pocas grietas en la parte superior de la pared situada por encima del refuerzo de madera.

En el estudio de Nasrollahzadeh & Zare, (2020), la deformación axial se midió por el desplazamiento relativo de los platos de la máquina de carga. De acuerdo con los resultados experimentales, la técnica de retro adaptación propuesta (las columnas de adobe

escalonadas fueron envueltas con tiras de polipropileno PP) restringió el ensanchamiento de las grietas durante la carga axial y, eventualmente, mantuvo la integridad de las muestras de adobe hasta grandes desplazamientos axiales. El modo de falla final de las muestras no reequipadas es la división de las unidades de adobe y el mortero a lo largo de la altura de la columna, mientras que el de las contrapartes reequipadas es la ruptura por tracción del alambre de acero que conecta los dos extremos de la correa de PP ubicada en la altura media del espécimen. Después de alcanzar el pico de resistencia axial, la columna de adobe modernizada con PP continúa soportando cargas axiales a través del redondeo gradual de su sección transversal, de modo que la resistencia axial finalmente llega a la resistencia inicial a la compresión, e incluso más allá.

7.3.2.2 Comportamiento estructural para eventos sísmicos

En Argentina se realizó un ensayo a una estructura a escala 1:2 el cual fue construido con un muro de adobe de 10 cm. Las puertas y techos de madera gruesa están hechos de troncos de madera con lengüetas y ranuras, y las juntas de las paredes están reforzadas con mallas metálicas de adentro hacia afuera. La prueba implica aplicar movimiento a la base de la estructura mientras se mide y registra la respuesta de la estructura a ese movimiento. Al utilizar la mesa de vibración IDIA, solo se permite el movimiento horizontal en una dirección. En este sentido, ha resistido una aceleración mayor que la aceleración producida a escala mundial, aunque la frecuencia es relativamente alta, el espectro de pseudoaceleración es muy exigente y tiene un gran número de ciclos de alta intensidad. El comportamiento de estas estructuras es positivo, considerando que sufrió un colapso parcial sin perder su capacidad de soportar cargas de techo. La esquina reforzada mantiene la pared unida en dos direcciones ortogonales, que es igual que el refuerzo aplicado a la puerta. Se

observó que debido a la fuerza externa del muro, el esfuerzo cortante se rompió y el muro se rompió y el adobe cayó. En la parte superior del modelo, esto representa en última instancia el riesgo de un colapso completo. En la Figura 12 se muestra un esquema de la instrumentación del modelo y la distribución de los sensores utilizados (Martínez et al., 2018).

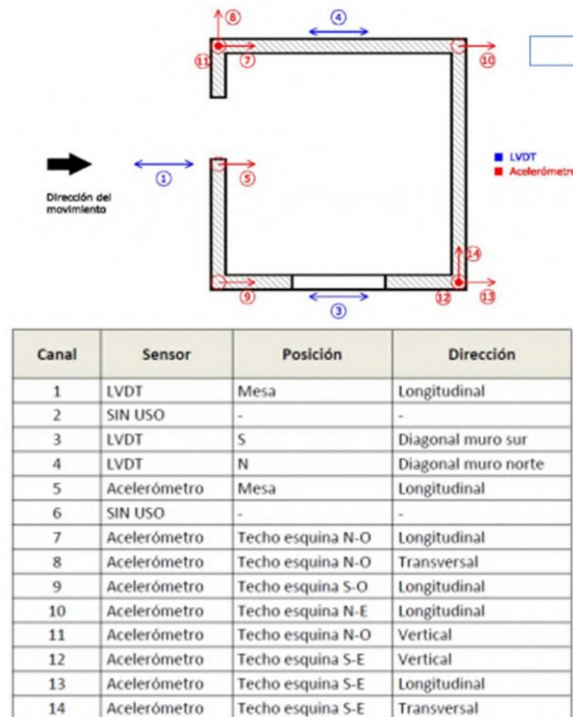


Figura 7. Esquema de la instrumentación del modelo y La distribución de los sensores utilizados

Tomado de: REFUERZO ESTRUCTURAL EN VIVIENDAS DE ADOBE ,
(Martínez et al., 2018)

Para el caso de Portugal se desarrolló un proyecto investigativo el cual evaluó la fragilidad sísmica de dos edificios tradicionales portugueses de adobe, los cuales mediante un modelado numérico se estimó su comportamiento estructural bajo carga sísmica usando propiedades de material de adobe propio de las estructuras, que fueron calibrados con base

en los resultados experimentales de una prueba cíclica en plano de un muro de adobe en forma de doble T a escala real (Ver Figura 13). En primera instancia el comportamiento del muro se evaluó en términos de: esfuerzo cortante versus deriva horizontal y relaciones momento versus rotación; máxima fuerza lateral; deriva y rotación en el pico de tensión; evolución de rigidez, desplazamientos laterales, energía disipada y frecuencia natural; y patrón de daños. La pared mostró un comportamiento frágil y resistencia en el plano correspondiente al 56% de la carga vertical. Se observó agrietamiento con un patrón en forma de X, mientras que no se produjo deslizamiento en su base (Silveira et al., 2018). En una segunda prueba el comportamiento estructural aparentemente es regular en planta, la rigidez de los edificios cambia según la dirección de aplicación de la carga, lo que pone de relieve el efecto de las características geométricas y de construcción en la respuesta sísmica del edificio: la distribución desigual de los elementos resistentes y la falta de simetría en una o ambas direcciones ortogonales pueden dar lugar a una reducción de la capacidad de construcción. Se esperaba que la contribución de los elementos estructurales internos, ya sea de las paredes o de los pisos, afectara significativamente a la respuesta del edificio, siendo esta esencial para distribuir las cargas y contribuyendo fuertemente a su rigidez horizontal global. El marco desnudo de las paredes externas de adobe no puede por sí mismo soportar altos niveles de carga horizontal, ya que los elementos actuarían como paredes independientes, deformándose significativamente para la carga de baja intensidad y luego colapsando (Sarchi et al., 2018).

Table 4. House 28 - Drift along the four directions.

Direction	Point	Drift (%)
+X	P3	0.07
	P1	0.07
-X	P4	0.06
	P1	0.06
+Y	P5	0.73
	P1	0.70
-Y	P6	0.81
	P2	0.71

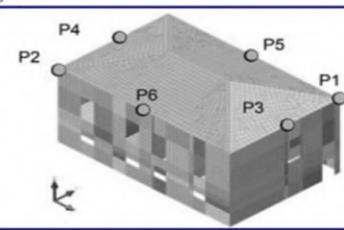
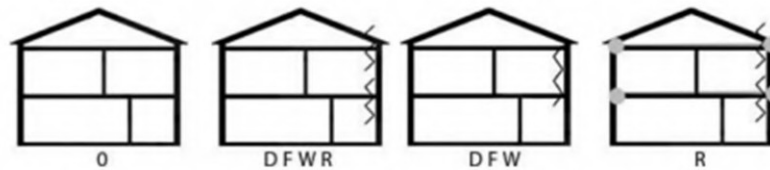
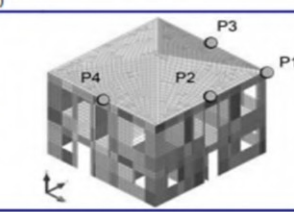


Table 5. House 32 - Drift along the four directions.

Direction	Point	Drift (%)
+X	P2	0.76
	P1	0.87
-X	P2	0.34
	P1	0.39
+Y	P3	0.12
	P1	0.18
-Y	P4	0.10
	P1	0.11



Damage-retrofit analysis configurations.

Figura 8. Cargas expuestas y Análisis de daños y perjuicios

Tomado de: Seismic behavior of two Portuguese adobe buildings: part II —numerical modeling and fragility assessment, (Sarchi et al., 2018)

En Irán el Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica K. N. Toosi, desarrollo ensayos de comprensión uniaxial para determinar el comportamiento estructural de bloques de adobe para luego ser reforzado con una nueva técnica. Las muestras fueron sometidas a la comprensión uniaxial bajo control de desplazamiento con una tasa de carga de 0,5 mm/min. A través de una máquina universal con una capacidad de 400 kN. Este ensayo en la columna de adobe sin refuerzo arrojó grietas excesivas durante la prueba de carga como se muestra en la Figura 14, los valores de deformación obtenidos por los calibres fijados a lo largo de una longitud limitada de la columna, que a su vez pueden sufrir localmente daños debido a la fisura del adobe mientras experimentan efectos de redondeo

durante la prueba, pueden no ser representativos del comportamiento completo de la muestra. En cambio, el desplazamiento relativo por las placas de carga proporciona un valor de deformación global para todo el espécimen, incluso bajo daños excesivos asociados a las grandes deformaciones (Nasrollahzadeh & Zare, 2020).

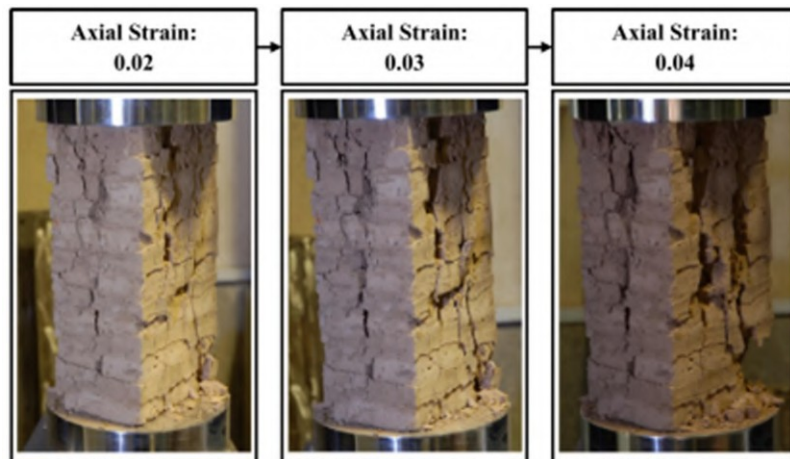


Figura 9 Columnas de adobe no reforzadas en diferentes cepas axiales.

Tomado de: Experimental investigation on axially loaded adobe masonry columns confined by polymeric straps, (Nasrollahzadeh & Zare, 2020).

7.4 Mejoramiento del Material Tierra Para la Mejora en el Desempeño Estructural de los Sistemas Constructivos de la Tapia pisada y el Adobe

Los componentes principales para la construcción con tapia pisada y adobe se basan en tierra (Arena) y arcilla que forman una textura barrosa y a la cual se le agregan dependiendo de cada uno gravas, limos y fibras, con el fin de aportar resistencia y estabilidad así como la cohesión de todos los materiales, cabe aclarar que no toda arena es propicia para ser usada en este tipo de construcciones, ya que esta debe tener una granulometría específica y adecuada de acuerdo a ciertas pautas establecidas. De igual manera de acuerdo con el sistema constructivo se utilizan diversas formas para mezclar y compactar estos componentes. El objetivo principal de estas técnicas constructivas se basa

principalmente en el aprovechamiento de los recursos disponibles y que en lo posible sean de tipo natural, de igual manera que no representen costos representativos comparados con las técnicas de construcción contemporáneas.

Dentro de la investigación se analizaron los diferentes materiales utilizados a nivel nacional e internacional para optimizar el desempeño estructural de los muros de tapia pisada y los bloques de adobe.

7.4.1 Mejoramiento Material Tierra de la Tapia Pisada

Se exponen los diferentes componentes hallados dentro de la investigación (Ver Tabla 2) y ensayados en la fabricación de la tapia pisada que han generado en términos generales resultados positivos en el comportamiento estructural de este sistema, clasificado de acuerdo con la función o aporte específico que brinda para la mezcla. En la Tabla 3 se exponen los componentes tradicionales para la fabricación de muros de tapia pisada y las funciones que ejercen dentro de la mezcla.

Tabla 2. Composición de Materiales Convencionales

	Material	Función	Especificación Granulométrica
Convencionales (AIS, 2004)	Grava	Brindar Resistencia	0 al 15%
	Arcilla	Cohesión de los componentes	15 al 25%
	Arena (tierra)	Componente Principal	40 al 50%
	Limo	Estabilizante	20 al 35%
	Agua	Aglutinante	Contenido Optimo de humedad

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3. *Composición de materiales Adicionales*

Aditivos	Fibras de Fique	Estabilizante y brindar resistencia	(Gómez et al., 2016)
	Cal	Propiedades Hidrófugas y funciona como cementante	
	Paja	Estabilizante y brindar resistencia	(Gómez et al., 2014)
	Boñiga de Vaca o Caballo	Absorber esfuerzos reolicos	(Bustamante & Mendoza, 2017)
	Miel de Abejas	Aglutinante y aporta dureza	
	Clara de Huevo	Aglutinante y aporta dureza	
	Sangre de Res	Plastificante	
	Melaza	Aglutinante y aporta dureza	
	Áridos	Aporta Maleabilidad a la mezcla	

Fuente: Autores

La adición de materiales dentro de las mezclas para la fabricación de muros de tapia pisada en los diferentes estudios analizados (Bustamante & Mendoza, 2017) (Gómez et al., 2014) (Gómez et al., 2016) demuestra que el agregar estos aumenta en un porcentaje significativo su comportamiento resistente frente a esfuerzos físicos y mecánicos. Pero sin embargo para este caso en los estudios analizados no hacen referencia específica a la cantidad óptima de agregados de cada tipo, así como tampoco el porcentaje exacto de aumento en las resistencias físico-mecánicas frente al método tradicional.

7.4.2 Mejoramamiento Material Tierra del Adobe

De acuerdo con el análisis de resultados de los documentos dentro de la investigación se encontraron distintas adiciones para la fabricación del adobe con el fin de mejorar su comportamiento físico-mecánico frente a diversas cargas. El daño estructural en algunas

ocasiones es causado cuando las tensiones producidas por una o más acciones que exceden el resistencia de los materiales en zonas significativas de las edificaciones y más si estas son de tierra, esto producido también porque la fuerza se ha reducido por otras acciones como químicas y biológicas del comportamiento de los materiales, donde los materiales quebradizos presentarán bajas deformaciones, mientras que los materiales dúctiles mostraran deformaciones considerables antes de su falla (Hemeda, 2012).

Es por esto que se hace tan importante el conocimiento de nuevos materiales para la adición en la fabricación de bloques de adobe ya que estas garantizan una durabilidad y una resistencia optima en las futuras construcciones en pro de la sostenibilidad, a continuación, se exponen los diferentes componentes hallados para ser clasificados de acuerdo a la función o aporte específico que brinda para este tipo de bloque.

7.4.2.1 Paja

Aporte para el Mejoramiento: Resistencia a la flexión, no se especifica el Porcentaje de aumento de esta propiedad en valor exacto, sin embargo, se afirma que hubo un aumento (Vissilia & Villi, 2010).

Proceso de Incorporación y/o Fabricación: Las unidades de adobe fueron hechas de tierra mezclada con paja junto con agua, prensado en moldes de madera, y se secaron al sol durante unos días hasta que estuvieron listos para ser usados en la construcción (Vissilia & Villi, 2010).

7.4.2.2 Lechada de PS-F (silicato de potasio con alto módulo - cenizas volantes)

Aporte para el Mejoramiento: Resistencia a la flexión y compresión, la compresión y la flexión aumentan en un 90,11% y 188,99% (Zhang et al., 2017).

Proceso de Incorporación y/o Fabricación: Los materiales experimentales incluyen soluciones de PS, cenizas volantes y agua. Las soluciones de PS fueron fabricadas por el Centro de Reparación de Reliquias Culturales de la Provincia de Gansu y son de un módulo de 3,8 y una concentración del 12%. PS es la abreviatura de silicato de potasio de alto módulo, fabricado por el siguiente proceso: 1) el silicato de potasio se diluye con agua hasta una gravedad específica de 1,3; 2) se añade a la solución silicio amorfo de 80 mallas mientras se calienta y se agita; y 3) la mezcla se agita uniformemente hasta que cumple el requisito de módulo (Zhang et al., 2017).

7.4.2.3 Fibras de Mijo rojo

Aporte para el Mejoramiento: Refuerzo que contribuye a la mejora de las características termo mecánicas y la durabilidad de los ladrillos de adobe, mejorar la resistencia a la compresión y la conductividad térmica entre un 38% y un 23 % (Babé et al., 2020).

Proceso de Incorporación y/o Fabricación: El suelo se mezcla con fibras durante quince minutos con el 22 % de agua por el peso seco del suelo hasta que se convierte en una mezcla homogénea. La pasta arcillosa se cubre con plásticos a temperatura ambiente durante tres días para promover la fermentación de los residuos de mijo (Babé et al., 2020).

7.4.2.4 Residuos Papel y Celulosa (PPR)

Aporte para el Mejoramiento: Funciona como reemplazo de fibra, para reforzar el adobe. La resistencia a la compresión se puede mejorar hasta en un 190% mientras que la conductividad térmica se reduce en aproximadamente el 30% (Muñoz, Letelier, Muñoz, & Bustamante).

Proceso de Incorporación y/o Fabricación: La arcilla y el PPR se secaron (es decir, 24 h a 105⁰ C) antes de mezclarse con el objetivo de referir cantidades sobre una base de

arcilla seca. El agua de moldeo aumentó con el aumento de la adición de PPR (Muñoz, Letelier, Muñoz, & Bustamante).

7.4.2.5 Saliva de Termitas

Aporte para el Mejoramiento: Propiedades cohesivas, Mejoró la resistencia a la compresión del adobe en un 20% (Corrêa et al., 2014).

Proceso de Incorporación y/o Fabricación: El reactivo es un sulfato de aluminio al 1:5000 para todos los tratamientos. El suelo es un cambisol Latosol rojo corregido al 50% de fracción de arena fina. La densidad aparente del suelo, la densidad de partículas y el volumen de poro total fueron: $D_s = 1,42 \text{ kg / dm}^3$, $D_p = 2,62 \text{ kg / dm}^3$ y $VTP = 45,8\%$. : LL (límite líquido) 55,44%; PL (límite plástico) 34,58%; SL (límite de contracción) 21,67%; y PI (índice de plasticidad) 20,86%. El contenido de humedad ideal fue variable, oscilando entre 50% y 40% según el aumento de saliva de termitas sintéticas (Corrêa et al., 2014).

7.5 Alternativas para el Reforzamiento y/o Rehabilitación Estructural de Sistemas constructivos de Tapia Pisada y Adobe.

Luego de conocer el comportamiento estructural de diferentes edificaciones desarrolladas con Tapia Pisada y Adobe, así como también el conocimiento de sus componentes y la influencia o función de estos dentro de estos sistemas, se procede a establecer las diferentes prácticas, reforzamiento y rehabilitación de los mismos, dividiéndolo en interna y externas, de igual modo para edificaciones existentes y futuras.

7.5.1 Reforzamientos Internos

Este tipo de estructuras tienen una mala resistencia a la tracción, por lo cual no admite cargas horizontales ocasionando fisuras en las mismas. Debido a esto se hace necesario el refuerzo interno mediante diferentes prácticas:

7.5.1.1 Reforzamientos Internos Tapia Pisada

Dentro de los reforzamientos internos para la mejora estructural de los muros de Tapia pisada se encuentran algunas opciones tales como:

A. Elementos de madera horizontales incrustado en los muros de tierra

El proceso para este tipo de refuerzo consiste en una inserción de madera horizontal en forma de escalera, las secciones longitudinales de las vigas de madera tenían unas dimensiones de $75 \times 45\text{mm}$, y las transversales de $50 \times 45\text{mm}$, según el catálogo de diseño nepalés DUDBC. La madera de pino tenía una clase mecánica C18. Los elementos longitudinales y transversales se conectaron con tornillos (diámetro 5 mm, longitud 70 mm) para limitar la disipación de energía en las conexiones madera-madera y para facilitar el análisis del mecanismo de disipación de energía global en la pared (Nasrollahzadeh & Zare, 2020).

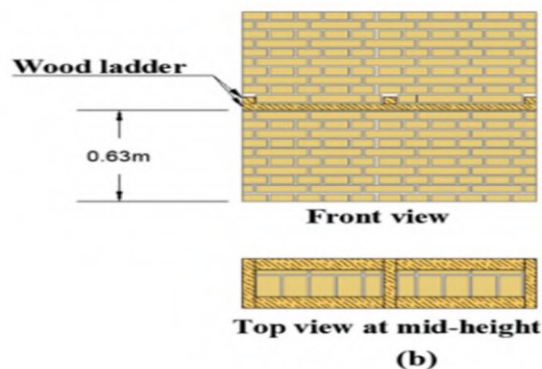


Figura 10. Elementos de madera horizontales incrustados en los muros de tierra
Fuente: Tomado de Nasrollahzadeh & Zare (2020).

En cuanto al comportamiento mostrado, el fallo del muro reforzado se caracterizó por la propagación de grietas diagonales en las esquinas inferiores al principio de la prueba, seguida de la formación de una grieta horizontal debajo de la inserción y la aparición de una superficie deslizante entre la parte superior e inferior del muro. Se observó que se desarrollaron muy pocas grietas en la parte superior de la pared situada por encima del refuerzo de madera. Además, el muro reforzado exhibía un comportamiento más dúctil, caracterizado por una mayor disipación de energía para niveles de desplazamiento más altos (Nasrollahzadeh & Zare, 2020).

B. Inclusión de Caña Brava

Para la inclusión de la caña brava dentro del proceso de reforzamiento A una altura de 40 cm, se prepararon 4 varas de caña a lo largo de la dirección longitudinal. De igual forma, cuando alcanza los 80 cm, se utilizaron 19 varas de caña silvestre en forma horizontal, y el proceso se repite cada compactación de 40 cm.



Figura 11. Inclusión de caña brava en el Proceso
Fuente: Tomado de Núñez & Mejía (2018).

El comportamiento antes ese reforzamiento muestra la falla de cizalla a una altura de 40 cm donde se coloca la caña. Esto permite concluir que la caña brava como inclusiones

horizontales en el muro de rodadura producirá fallas, destruyendo el desempeño general de estos elementos, estas fallas son causadas por la ausencia de cohesión de las partículas del suelo alrededor de las inclusiones, produciendo así un punto de fragilidad en la estructura (Núñez & Mejía, 2018).

Otra de las técnicas identificadas se da en España donde para el reforzamiento de las construcciones con tapia pisada utilizan sistemas de refuerzo sobre las uniones perpendiculares dejando visibles clavijas, alfileres y cuñas para posteriores controles y mantenimientos (Angulo, 2017). Para el caso de los elementos estructurales a emplear dentro de estas construcciones, en la Tabla 4 se compilan los elementos estructurales identificados dentro de los estudios analizados

Tabla 4. *Elementos estructurales*

Lineales O Unidimensionales	Bidimensionales
<ul style="list-style-type: none"> • Muros diseñados con piedra, bloques y ladrillo • Columnas y pilares reforzadas en el interior con cemento, acero madera o bambú • Columnas de hormigón armado • Vigas y dinteles de madera, acero, bambú, tierra armada y hormigón • Barras de arriostramiento de cruces de San Andrés, chapas de cobre, barras cruzadas acero corrugado, varillas roscadas, 	<ul style="list-style-type: none"> • Cimentaciones de piedra y concreto o de hormigón armado • Muros de carga formados por bloque, ladrillo y reforzados con cemento • Losas de hormigón, escaleras de tierra comprimida y concreto

Fuente: Autores

7.5.1.2 Reforzamientos Internos Adobe

Dentro de los reforzamientos internos para la mejora estructural de los muros de Adobe se encuentran algunas opciones tales como:

A. Mallas de juncia de sapo (*Juncus bufonius* L.)

La fibra de la fiebre del sapo fue probada como una malla de refuerzo en los muros de adobe. Para este propósito se desarrolló una prueba estática empírica con impactos horizontales aplicados a un muro T de adobe de 0,4 m reforzada con mallas de junco de sapo en la zona más crítica (Ver Figura 12). Las trenzas ortogonales de la fiebre del sapo están separadas por 0,03 m y atadas al muro de adobe T con mechas cada 0,4 m. Esta malla se colocó envolviendo las zonas críticas de la pared desde su base y atando en la parte superior de la pared para templarlo y lograr un mejor agarre, para así proporcionar más seguridad en la pared y un mejor acabado exterior (Méndez et al., 2014).



Figura 12. Mallas de juncia de sapo
Fuente: Tomado de Méndez, Mora, & Sosaya Del Carpio (2014).

El módulo de elasticidad de cada malla de junco de sapo es de 36 kPa por un 5% de la tensión. El máximo esfuerzo de tracción en ambas direcciones es de 745 N con un 12% de elongación. Estos valores permiten verificar que la fiebre del sapo (*Juncus bufonius* L.), es un material natural cuya mayor parte características importantes son su resistencia a la tracción, así como su módulo de Young. La prueba de impacto horizontal mostró que el

adobe reforzado con T recibió 9 impactos con 84,49 MPa como tensión máxima aplicada y con 45 kN como tensión acumulada sin fallo crítico. Una prueba de simulación sísmica permitió determinar el componente horizontal de la fuerza, equivalente al peso total del módulo $W = 52,19$ kN, lo que nos permite encontrar diferentes ángulos de inclinación según la altura del lado alto. La máxima tensión vertical alcanzada durante la prueba fue de 2,16 mm en el lado suroeste (SW) del módulo contra el opuesto lado sur donde la máxima deformación vertical alcanza un valor de 1,95 mm. El módulo tenía un comportamiento lineal hasta alcanzar una distorsión de 1/750 donde el desprendimiento del yeso comenzó en el las paredes de los módulos en la parte superior de la cara noreste. Posteriormente, con la misma distorsión, se generaron grietas diagonales en las paredes noreste y sureste (Méndez, Mora, & Sosaya Del Carpio, 2014).

B. Refuerzo de tela de fieltro

Para incorporar este tipo de refuerzo en este sistema constructivo, se incrustaron materiales de refuerzo en el mortero entre cada capa de bloques para proporcionar una barrera contra la propagación de las grietas diagonales dominantes que se observan comúnmente en los muros de adobe después de un evento sísmico y son en gran parte responsables del colapso de las estructuras de adobe. En la Figura 13 se muestra la tela de fieltro utilizada (Böttger & Ostertag, 2014).



Figura 13. Tela de fieltro usada como refuerzo
Fuente: Tomada de Böttger & Ostertag (2014)

La unión de la tela de fieltro con el mortero circundante y su alta capacidad de tensión han contribuido al aumento de la energía disipación de la pared compuesta que contiene el refuerzo de tela de fieltro. Al analizar el cilindro las pruebas de tensión de división y las pruebas de compresión de la diagonal de la pared, se puede concluir que existe una gran diferencia como se muestra en la Figura 16 entre la grieta inicial y las cargas máximas en una prueba de cilindro corresponde a una el comportamiento deseado de la pared compuesta construida con ese tejido de refuerzo (Böttger & Ostertag, 2014)

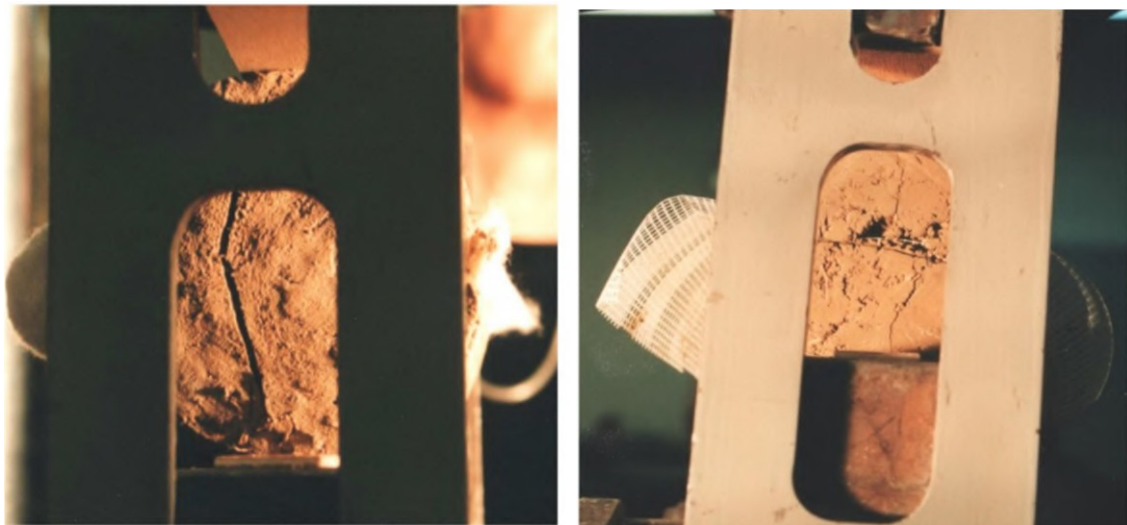


Figura 16. Agrietamiento antes y después del reforzamiento

Fuente: Tomada de Böttger & Ostertag (2014)

En el Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada desarrollado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (ACIS) se establece un refuerzo interno para las estructuras de adobe que consiste en incorporar un refuerzo de madera rolliza de diámetro de 0.10m en una pared divisoria que no está conectada a la pared principal del edificio. y con una separación de 1.20m entre sí. Igualmente, para la tapia pisada se incorpora un refuerzo interno, donde los refuerzos horizontales incluyen madera, caña de azúcar o guadua, generalmente atravesando juntas verticales (AIS, 2004).

7.5.2 Reforzamientos Externos Tapia Pisada y Adobe

Reforzar las estructuras de los sistemas constructivos con Tapia Pisada y Adobe constituye una alternativa rentable para evitar así daños más severos o en ocasiones la demolición debido a la actividad sísmica y el desgaste propio del tiempo y los materiales de construcción. Cabe resaltar también que en la actualidad se están realizando construcciones que incorporan en sus métodos estos sistemas constructivos y por ende es de gran importancia conocer estos reforzamientos externos para ser incorporados en las nuevas estructuras.

7.5.2.1 Reforzamientos Externos Tapia Pisada

Para los reforzamientos externos que mejoran el comportamiento estructural de los muros de Tapia pisada los más usados son:

A. Reforzamiento con madera de confinamiento

Se basa en instalar un componente de madera (de 200 mm de ancho, 20 mm de espesor) en el plano del muro e interconectarlos por medio de pernos pasantes. El espaciado vertical y horizontal de la madera es de 1,5 metros; otras maderas se instalan en las esquinas y aberturas (puertas y ventanas). A través de uniones en las esquinas con ángulos de acero se complementa el sistema. En cuanto al comportamiento estructural, este tipo de refuerzo aumenta la resistencia a la flexión de la pared, mantiene la unidad de la estructura y proporciona una mayor capacidad de disipación de energía (Yamín et al., 2007) (Cerón & Silva, 2014).

B. Elementos de madera en ambas direcciones y en ambos lados de los muros

La incorporación de dos estrategias ya conocidas: el refuerzo externo con entramados de madera y la implementación de una viga de coronación en concreto. Implementación de un diafragma rígido y el reforzamiento de los muros, que consiste en entramados de madera

unidos por ambas caras, dando de esta forma confinamiento y rigidez. Esto reduce la vulnerabilidad de este tipo de construcción, reducción en los desplazamientos entre 65% y 80% y reducción en la fisuración (López et al., 2020)

C. Reforzamiento con malla y mortero de cal

Instalación de mallas y morteros de cal a través de franjas horizontales y verticales (simulando vigas y columnas de contención) en áreas clave de la estructura. Se utilizan cables con un diámetro de 8 mm a intervalos de 500 mm para fijar la pantalla en la pared. Después de eso, se cubra la cal y el mortero en una proporción de 1: 2. Este refuerzo evita la pérdida de rigidez lateral que se presenta en edificaciones no reforzadas cuando se agrietan (Yamín et al., 2007) (Blondet et al., 2015) (Vargas et al., 2007).

D. Vigas corona

En ausencia de vigas de "corona" en la pared, se recomienda colocar vigas en la parte superior de la pared y en toda la periferia de la casa de tapia pisada. La viga de corona puede ser de madera u hormigón (Yamín et al., 2007).

7.5.2.2 Reforzamientos Externos Adobe

Para los reforzamientos externos que mejoran el comportamiento estructural de los muros de Tapia pisada los más usados son:

A. Vigas corona

En ausencia de vigas de "corona" en la pared, se recomienda colocar vigas en la parte superior de la pared y en toda la periferia de la casa de adobe. La viga de corona puede ser de madera u hormigón (Yamín et al., 2007).

B. Malla Metálica

Los encuentros de las paredes se refuerzan, dentro y fuera, con una malla metálica. Las esquinas reforzadas funcionan bien, haciendo que las paredes unidas en dos direcciones ortogonales sean iguales al refuerzo aplicado a la puerta (Martínez et al., 2018).

C. Malla de drizas (sogas sintéticas)

El lodo tamizado se inyecta en la estructura de adobe y se refuerza con la malla externa de la cuerda de suspensión en cada cara del muro y se temple manualmente. La driza también está equipada con una viga de cuello de madera. Con este tipo de refuerzo se aporta integridad a la estructura y estabilidad ya que evita en gran proporción el colapso parcial de los bloques (Blondet et al., 2015).

D. Refuerzo de madera incrustando puntales de madera en la sección superior de las esquinas y las vigas de anillos

El sistema se compone de tres elementos: el refuerzo, los pernos o brazos que se cruzan en el exterior y la cuña que los mantiene en su lugar. Consiste en enrollar las paredes juntas usando puntales de madera y alfileres en el exterior de la pared limitando su movimiento.

Esto fue pensado como una forma de absorber la presión de la tensión localizada en la parte superior las esquinas de las juntas de la pared donde no se encuentran vigas, tomando ventaja de la presión de compresión ejercida por el refuerzo y los pasadores (Anguloz, 2017)

A nivel Latinoamérica diversos autores (López P. et al., 2020) (Cerón & Silva, 2014) (Yamín Lacouture et al., 2007)(Chica & Fuertes, 2018) coinciden con el Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada sobre el reforzamiento con

madera de confinamiento y malla, esta última tiene algunas variaciones en cuanto al material de fabricación de las mismas. Solo un estudio a nivel España aportó una práctica de referencia para el reforzamiento estructural de este tipo de edificaciones.

7.5.3 Rehabilitación de Estructuras

Una rehabilitación estructural consiste en evaluar los problemas específicos de las edificaciones causados por el desgaste físico causado por los años y los factores ambientales, así como también por eventos sísmicos y de alguna manera ser afrontados con acciones específicas y sencillas y actuaciones más complejas al afectar a elementos fundamentales de su estructura.

Así como en el manual de rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada diseñada en Colombia, en la investigación se pudo establecer que las rehabilitaciones estructurales para construcciones en tierra se pueden aplicar a los dos sistemas constructivos y se especifican los siguientes métodos:

A. Disminución de Peso

Consiste en usar techos de tejas livianas de zinc o acero galvanizado en lugar de techos de tejas gruesas de arcilla con capas de mortero. Reemplazar el sistema de entrepiso con mortero, y reemplazar las tabletas con sistemas de madera. La reducción de peso ayuda a disminuir la fuerza de inercia provocada por la acción sísmica (AIS, 2004).

B. Mejoramiento de Entrepisos

Plaquetas de concreto, Vigas corina Perimetrales y entablado complementario. El diafragma efectivo puede distribuir completamente la fuerza al elemento vertical más fuerte y absorber el efecto de torsión causado por las irregularidades de la estructura (AIS, 2004).

C. Rehabilitación de Muros

A través de Mallas o Madera Confinada. Aumenta la resistencia estructural (AIS, 2004).

D. Rehabilitación de Cubiertas

El techo debe ser reconstruido con materiales como madera o guaduas en buen estado. Se debe generar suficiente soporte en la estructura del techo. Se pueden usar ladrillos de arcilla en la capa de papel asfáltico para separar los ladrillos de la madera. Mejora el comportamiento frente a las cargas verticales y horizontales (AIS, 2004).

E. Rehabilitación de Pañetes y Revoques

Cuando se producen grietas y pérdida de revoque, se debe utilizar mortero de cal. Para colocar el mortero se debe clavar a la pared con malla de alambre. Mejora la apariencia de la estructura (AIS, 2004).

F. Prototipo de dispositivo basado en las propiedades supe elásticas de los SMAs (supe elásticas de las aleaciones con memoria de forma)

El sensor para la adquisición de la respuesta sísmica. Los resultados de las pruebas de mesa vibratoria muestran que el uso del dispositivo SMA (Ver Figura 19) propuesto es capaz de mejorar el rendimiento sísmico de las estructuras equipadas con tirantes metálicos. Esto puede atribuirse principalmente a una mayor capacidad de disipación de energía y a la capacidad de recentrado del dispositivo SMA (Cardone et al., 2019).

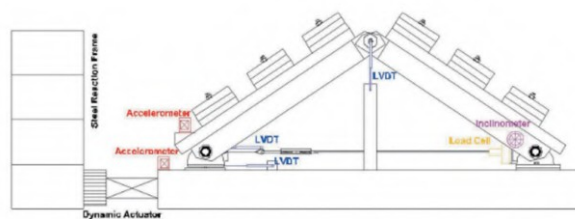


Figura 14. Dispositivo SMA
Fuente: Tomada de Cardone et al. (2019).

G. Periferia rígida

Formación de un diafragma de madera compatible con los materiales originales que proporcionará una base de nivelación para el techo. Mejora en el rendimiento de los muros de carga bajo el sismo fuerzas. Además, se proporcionará un diafragma de suelo sustituyendo el desgastado tablón de madera con suficiente grosor, madera contrachapada fuerte, que se clavará en las vigas principales y conectadas a los elementos verticales del edificio (el adobe paredes). De esta manera, la filosofía de la transferencia de cargas verticales de las se mantendrán los pisos de los muros de carga, asegurando una mejor rigidez para evitar desvíos no deseados. Al mismo tiempo, una acción más fuerte del diafragma también será logrado en el mismo lugar que en el edificio original, lo que contribuye a la mejor rendimiento de los muros de carga durante los terremotos. En la Figura 15 se muestra el modelo propuesto para la rehabilitación (Vissilia & Villi, 2010)

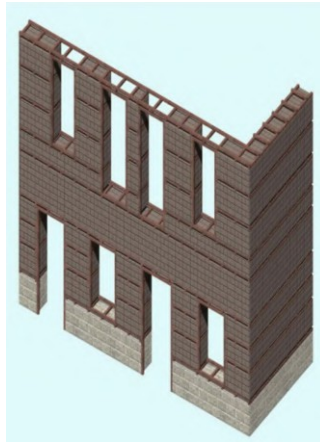


Figura 15. Diafragma de madera
Fuente: Tomado de Vissilia & Villi (2010)

H. Las columnas de adobe escalonadas fueron envueltas con tiras de polipropileno (PP)

Las correas de PP se colocan a un cierto intervalo, mientras que los dos extremos de una correa están unidos por un alambre de acero como se muestra en la Figura 16. No se utiliza

ningún agente adhesivo entre las correas y la superficie de adobe. El confinamiento por las correas de PP mejora tanto la fuerza como, más importante, la capacidad de desplazamiento de las columnas de mampostería (Nasrollahzadeh & Zare, 2020)

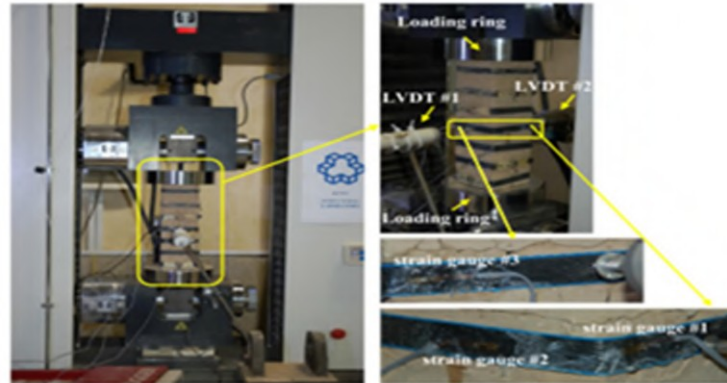


Figura 16. Prueba de compresión en los adobes reforzados
Fuente: Tomado de Nasrollahzadeh & Zare (2020)

I. Sistema de anclaje compuesto de tracción-compresión (sistema de anclaje TC) totalmente cementado

Tipo de sistema de anclaje compuesto de tracción-compresión (sistema de anclaje TC) totalmente cementado, que está compuesto por un sistema de soporte de presión con el mismo diámetro del agujero de anclaje en el extremo del perno de tensión. la tensión de cizallamiento interfacial media del sistema de anclaje TC aumenta alrededor del 40% en comparación con el del sistema de anclaje en T (Wang et al., 2019).

J. Sellado de grietas sísmicas mediante barro líquido (grout) y un refuerzo externo de cuerdas de nylon (driza) que cubre todos los muros

Ambos lados de la grieta se sellan con una capa de silicona, dejando una abertura de unos 100 mm. Se inyecta barro en las grietas. Consiste en una mezcla de suelo tamizado en malla # 10 (apertura 2 mm), 50% paja picada (aproximadamente 10 mm de largo) y 35%

(peso) de agua. Después de secar, se refuerza la pared con una red ortogonal de cuerda de nailon de 1/4 de pulgada de diámetro. La tecnología de refuerzo combinada puede mantener la integridad estructural; evitar la degradación excesiva, especialmente evitando el colapso de la pared. Además, también puede controlar el desplazamiento de la estructura fracturada durante el ejercicio de alta intensidad (Blondet et al., 2015).

8 Discusión

Los materiales de construcción a base de suelo se han utilizado desde la antigüedad, pero recientemente, la consideración principal es utilizar materiales de construcción respetuosos con el medio ambiente para la restauración de edificios tradicionales, en lugar de nuevos edificios. Sin embargo, la reciente promoción de edificios más sostenibles ha llevado a la gente a prestar atención al adobe o la tapia pisada (Muñoz et al., 2020).

En este sentido existen diferentes estudios en busca de brindar bases sólidas acerca de los beneficios que tienen este tipo de construcciones y las alternativas para restaurar y reforzar las edificaciones existentes y futuras. Ya que muchas de estas construcciones se encuentran se proponen estrategias integradas que consiste en refuerzos con el fin de reducir esta vulnerabilidad (López P. et al., 2020), el uso de estas técnicas ha sido olvidado a lo largo del tiempo, y actualmente las edificaciones de adobe carecen de un sistema constructivo adecuado a nuestras características sísmicas, económicas y ecológicas. Las soluciones actuales a este problema no son lo suficientemente efectivas. Para lograr una forma de vida que integre identidad cultural, vivienda, medio ambiente y salud, se estudia la incorporación de materiales tales como el junco (*Juncus bufonius* L.) (Méndez et al., 2014); paja (Vissilia & Villi, 2010); Silicato de potasio (Zhang et al., 2017); Fibras de mijo rojo (Babé et al., 2020); residuos de papel y celulosa (Muñoz, Letelier, Muñoz, & Bustamante); saliva de termitas (Corrêa et al., 2014).

De igual manera se han establecido a nivel mundial diversas alternativas de sistemas de reforzamiento estructural de estos sistemas constructivos, tal es el caso de los reforzamientos internos que incluyen elementos de madera horizontales incrustado en los muros (Nasrollahzadeh & Zare, 2020); refuerzo de tela de fieltro (Böttger & Ostertag,

2014); inclusión de caña brava (Núñez & Mejía, 2018). Para el caso de reforzamientos externos se encontró que las investigaciones incluyen madera de confinamiento (Yamín et al., 2007) (Cerón & Silva, 2014); el refuerzo externo con entramados de madera y la implementación de una viga de coronación en concreto López et al., 2020); reforzamiento con malla y mortero de cal (Yamín et al., 2007) (Blondet et al., 2015) (Vargas et al., 2007); vigas corona (Yamín et al., 2007); mallas metálicas (Martínez et al., 2018); sogas sintéticas (Blondet et al., 2015);

Como se ha mencionado durante el desarrollo de esta investigación, alrededor del mundo existen múltiples edificaciones elaboradas en tapia pisada y adobe, y muchas de estas corresponden a patrimonios arquitectónicos, es por esto que se han realizado investigaciones en pro de la rehabilitación de estas estructuras que han sufrido afectaciones de diversos tipos y entre ellos el deterioro propio del tiempo. Tal es el caso de Colombia que para el año 2004 se creó un manual de rehabilitación de estas estructuras y en el cual se establecen cinco alternativas para este procedimiento (AIS, 2004); otras alternativa son la de un prototipo de dispositivo basado en las propiedades super elásticas de los SMAs (Cardone et al., 2019); una periferia rígida (Vissilia & Villi, 2010); columnas de adobe escalonadas envueltas con tiras de polipropileno (Nasrollahzadeh & Zare, 2020) y sellado de grietas sísmicas mediante barro líquido (grout) y un refuerzo externo de cuerdas de nylon (driza) que cubre todos los muros (Blondet et al., 2015)

9 Conclusiones

A través del estudio desarrollado se pudieron identificar los diferentes sistemas de reforzamiento estructural de muros de tapia pisada y adobe que se han realizado a nivel mundial, sin embargo, la literatura que más prevalece en cuanto a este tema se encuentra a nivel Suramérica a pesar de ser técnicas empleadas en todas las culturas

Los comportamientos estructurales de estos sistemas constructivos se dan de acuerdo con la zona de construcción y esto puede ser debido a las diferentes combinaciones granulométricas de los componentes, así como la incorporación de aditivos extras propios de cada cultura en pro de mejorar la resistencia, cohesión, el aislamiento térmico y la durabilidad. En general, se resalta la conclusión de que se considera que la principal falla estructural de este tipo de sistema constructivo es originariamente causada por la rotura y caída de las vigas, lo que posteriormente debido al apalancamiento longitudinal de la estructura de la cubierta genera la pérdida de estabilidad de estas estructuras, es por esto que ante estas estructuras se debe tener en cuenta este comportamiento estructural de muros de tapia pisada y adobe para su construcción o rehabilitación.

La participación de los diferentes componentes de los muros de tapia pisada y adobe en su desempeño estructural se basa directamente por la adición de materiales dentro de las mezclas para estos. En los diferentes estudios analizados, se ha demostrado que al agregar los diferentes agregados ya sea de tipo natural o artificial, se mejora en gran medida su resistencia esfuerzos físico y mecánico. Cabe mencionar que estos estudios no hacen referencia a las cantidades específicas de estos agregados dentro de las mezclas.

Entre las diferentes técnicas de reforzamiento destacan la de la rehabilitación de muros mediante la utilización de mallas o madera confinada para mejorar la resistencia sísmica y el comportamiento estructural de las edificaciones y así evitar el colapso de las diferentes edificaciones. De esto cabe resaltar que el Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada dentro del marco de la legislación colombiana y las normas existentes respecto a este tipo de estructuras establece 5 alternativas o prácticas para la rehabilitación sísmica de dichas estructuras, de las cuales seis de los autores de las investigaciones analizadas implementan estas alternativas para la rehabilitación estructural del Patrimonio Arquitectónico Colombiano, estos han realizado ensayos y pruebas a escalas de prototipos basados en las arquitecturas de estudio, donde mediante la implementación de estas alternativas han brindado respuestas positivas y resultados óptimos para su intervención posterior real.

Dentro de la variedad de reforzamientos expuestos resalta el de madera incrustando puntales de madera en la sección superior de las esquinas y las vigas de anillos ya que absorbe la presión de la tensión localizada en la parte superior las esquinas de las juntas de la pared y minimiza así el riesgo de desplome estructural.

Para dar cumplimiento al último objetivo se presentó de una manera ordenada la combinación de distintas teorías, ensayos u opiniones de los diferentes autores respecto al tema de investigación dentro de la discusión, dando así la respuesta al objetivo general de este proyecto de grado.

Estos estudios demuestran la gran importancia cultural que poseen las estructuras antiguas, así como también el naciente movimiento en busca de la sostenibilidad ambiental en el sector de la construcción, buscando mitigar el impacto causado y la

reutilización de elemento de desecho que pueden ser materiales potenciales para los procesos constructivos, sin embargo hacen falta más investigaciones acerca del tema.

Bibliografía

Aguilar, R., Zonno, G., Lozano, G., Boroschek, R., & Lourenço, P. B. (2019). Vibration-Based Damage Detection in Historical Adobe Structures: Laboratory and Field Applications. *International Journal of Architectural Heritage*, 13(7), 1005–1028.

<https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1632974>

AIS. (2004). Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. *Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica*, 90.

Anguloz, Q. (2017). Performance analysis of wooden reinforcement in rammed earth walls. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 61(4), 882–888.
<https://doi.org/10.3311/PPci.9236>

Aranguren, J., Vieux-Champagne, F., Duriez, M., & Aubert, J. E. (2020). Experimental analysis of timber inclusions effect on paraseismic behavior of earth masonry walls. *Engineering Structures*, 212(February), 110429.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110429>

Babé, C., Kidmo, D. K., Tom, A., Mvondo, R. R. N., Boum, R. B. E., & Djongyang, N. (2020). Thermomechanical characterization and durability of adobes reinforced with millet waste fibers (sorghum bicolor). *Case Studies in Construction Materials*, 13.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00422>

Banrepcultural. (2017). *Fundación para la conservación del Patrimonio Colombiano*.
<https://www.banrepcultural.org/fundaciones/fundacion-para-la-conservacion-del-patrimonio-colombiano>

Blondet, M., Vargas, J., Tarque, N., Soto, J., Sosa, C., & Sarmiento, J. (2015). *REFUERZO SÍSMICO DE MALLAS DE SOGAS SINTÉTICAS PARA CONSTRUCCIONES DE ADOBE*.
<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:No+Title#0>

Böttger, H. M., & Ostertag, C. P. (2014). Fabric reinforcement for improved toughness of adobe block wall systems. *Key Engineering Materials*, 600, 156–165.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.600.156>

- Bustamante, K., & Mendoza, D. (2017). *BTC CON ADICIÓN DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA COMO SOLUCIÓN A LA AUTOCONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA EN ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE NIMAIMA*. Universidad La Gran Colombia.
- Cardone, D., Angiuli, R., & Gesualdi, G. (2019). Application of Shape Memory Alloys in Historical Constructions. *International Journal of Architectural Heritage*, 13(3), 390–401. <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1563225>
- Castillo, W. A., Palma, G. A., & Moncayo, H. C. (2018). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la tapia en Pasto (Nariño, Colombia)*. 12(24), 77–88.
- Cerón, L. A., & Silva, M. A. (2014). *Desempeño Sísmico de Casas Consistoriales en Tapia Pisada Con y Sin Refuerzo en Maderas de Confinamiento*. Pontificia Universidad Javerina.
- Chica, A., & Fuertes, A. (2018). Enfoque para el análisis estructural y protección sísmica de edificaciones patrimoniales , a partir de la caracterización de sus particularidades técnicas Approach to the Structural Analysis and Seismic Protection of Heritage Buildings based on the Charac. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33, 315–326.
- Construcción eficiente y sostenible*. (2017). <http://dgaguayo.blogspot.com/2017/04/casa-de-tapial-ganadora-en-los-terra.html>
- Corrêa, A. A. R., Bufalino, L., De Paula Protásio, T., Ribeiro, M. X., Wisky, D., & Mendes, L. M. (2014). Evaluation of mechanical properties of adobe chemically stabilized with “synthetic termite saliva.” *Key Engineering Materials*, 600, 150–155. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.600.150>
- Díaz, C. (2011). *Adobe Incide La Huella Del Objeto Valorado Desde La Perspectiva Del Patrimonio Cultural En El Centro Antiguo De Villavicencio : Puntualizando Procedimientos*. 6, 1–13.

DISEÑO VIP. (2019). *BIOCONSTRUCCION / Arquitectura de bajo impacto ambiental*.

<https://xn--diseo-rta.vip/bioconstruccion-arquitectura-de-bajo/>

ESDIMA. (2018). *Qué es el Interiorismo*. <https://esdima.com/que-es-el-interiorismo/>

Gama Castro, J. E., Cruz y Cruz, T., Pi Puig, T., Alcalá Martínez, R., Cabadas Báez, H.,

Sánchez Pérez, S., López Aguilar, F., & Vilanova de Allende, R. (2012). Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. *Boletín de*

La Sociedad Geológica Mexicana, 64(2), 177–188.

<https://doi.org/10.18268/bsgm2012v64n2a3>

Garofano, O. (2020). La arquitectura de bajo impacto ambiental. *Anticuable*.

<https://www.anticuable.com/blogs/news/la-arquitectura-de-bajo-impacto-ambiental>

Gómez, E., Navas, D. F., Aponte, G., & Betancourt, L. (2014). Metodología para la

revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *DYNA (Colombia)*, 81(184), 158–163.

<https://doi.org/10.15446/dyna.v81n184.37066>

Gómez, V., López, C., & Ruiz, D. (2016). Rehabilitación sísmica de edificaciones

históricas en tapia pisada: Estudio de caso de capillas doctrineras reforzadas con malla de acero y madera de confinamiento. *Informes de La Construcción*, 68(541).

<https://doi.org/10.3989/ic.15.017>

Gómez, Vanesa, López, C., & Ruiz, D. (2014). *Tapia Pisada: Estudio De Caso De*

Capillas Doctrineras Reforzadas Con Malla De Acero Y Madera De Confinamiento.

68(541), 1–15.

Hemeda, S. (2012). Grouting of multiple leaf-masonry walls: Application on some islamic

historical monuments in Cairo, Egypt. *International Journal of Conservation Science*,

3(4), 275–288.

- Hernandez Sampieri, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (MacGraw Hill Education (Ed.); 6th ed., Vol. 4, Issue 1).
- Junta de Andalucía. (1998). Qué es patrimonio inmueble. *Instituto Andaluz Del Patrimonio Historico, Consejería de Cultura*, 6–7.
- López P., C., Ruiz, D., Jerez, S., Aguilar, S., Torres, J. F., & Alvarado, Y. A. (2020). Comportamiento sísmico de edificaciones de tapia pisada reforzadas con marcos de madera y viga de coronación en concreto. *Informes de La Construcción*, 72(559), 347. <https://doi.org/10.3989/ic.70914>
- López Pérez, C., Ruiz Valencia, D., Jérez Barbosa, S., Quiroga Saavedra, P., Uribe Escamilla, J., & Muñoz Díaz, E. (2007). Seismic rehabilitation of adobe brick walls in monumental buildings using steel tensors. *Apuntes: Revista de Estudios Sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies*, 20(2), 304–317. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-97632007000200010&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Macías, A. (2016). *Evolución del comportamiento mecánico de bloques y baldosas de tierra comprimida estabilizada sometidas a heladicidad*. 1–95. <http://hdl.handle.net/11441/66763>
- Martínez, S., Herrera, L. I., Romarión, R., & Herrera, J. L. (2018). Refuerzo estructural en viviendas de adobe. *X Congreso Regional de Tecnología En Arquitectura (CRETA)(La Plata, 2018)*, 779–788.
- Medina, C., Marin, J. A., & Alfalla, R. (2010). Una propuesta metodológica para la realización de búsquedas sistemáticas de bibliografía (A methodological proposal for the systematic literature review). *WPOM-Working Papers on Operations Management*, 1(2), 13. <https://doi.org/10.4995/wpom.v1i2.786>

- Méndez, M. T., Mora, R., & Sosaya Del Carpio, L. G. (2014). Reinforcement of adobe constructions with toad rush mesh. *Key Engineering Materials*, 600, 208–214. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.600.208>
- Mesa, D., & León, J. (2018). *Revisión Bibliográfica sobre las Técnicas de Intervención para la Conservación de las Construcciones Existentes en Tapia Pisada*.
- Ministerio de vivienda. (2010). Edificaciones antisísmicas de Adobe. *Manual de Construcción/Edificaciones Antisísmicas de Adobe*, 36.
- MinVivienda. (2018). *Infraestructura Social y Hábitat*. <https://prosperidadsocial.gov.co/sgpp/infraestructura-social-y-habitat/>
- Muñoz, P., Letelier, V., Muñoz, L., & Bustamante, M. A. (2020). Adobe bricks reinforced with paper & pulp wastes improving thermal and mechanical properties. *Construction and Building Materials*, 254. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119314>
- Nasrollahzadeh, K., & Zare, M. (2020). Experimental investigation on axially loaded adobe masonry columns confined by polymeric straps. *Construction and Building Materials*, 262, 119895. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119895>
- Núñez, B. S., & Mejía, C. A. (2018). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA TÉCNICA VERNÁCULA DE MUROS EN TAPIA PISADA CON INCLUSIÓN DE CAÑA BRAVA*. UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.
- Ochoa, M. T., & Toirac Corral, J. (2005). MATERIALES DE BAJO COSTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS ECONÓMICAS María. *Revista Ciencia y Sociedad*, 30(1), 196–231. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87030108>
- Ruiz Valencia, D., López Pérez, C., & Rivera, J. C. (2012). Propuesta de normativa para la rehabilitación sísmica de edificaciones patrimoniales. *Apuntes: Revista de Estudios*

Sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies, 25(2), 226–239.

Sarchi, L., Varum, H., Monteiro, R., & Silveira, D. (2018). Seismic behavior of two Portuguese adobe buildings: part II —numerical modeling and fragility assessment. *International Journal of Architectural Heritage*, 12(6), 936–950. <https://doi.org/10.1080/15583058.2017.1423132>

SENA. (2010). *Construcción de muros en Tapia y Bahareque*.

<http://www.ghbook.ir/index.php?name=رس‌از‌ه‌ی‌س‌راس‌-‌ر‌یش‌یان‌-‌د‌ه‌م‌ن‌ید‌وم‌م‌ز‌-‌ال‌ات‌م‌ج‌م‌وع‌ه>

ونیزی‌نل‌-‌و

http://www.ghbook.ir/index.php?option=com_dbook&task=readonline&book_id=13629&page=108&chhashk=03C706812F&Itemid=218&lang=fa&tmpl=component

Silveira, D., Varum, H., Costa, A., Pereira, H., Sarchi, L., & Monteiro, R. (2018). Seismic behavior of two Portuguese adobe buildings: Part I - in-plane cyclic testing of a full-scale adobe wall. *International Journal of Architectural Heritage*, 12(6), 922–935. <https://doi.org/10.1080/15583058.2017.1423131>

Vargas, J., Neumann, D., & Marcial, T. (2007). *Construcción de casas saludables y sismorresistentes de ADOBE REFORZADO con geomallas*.

Vasquez, M. (2001). Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales. *Ciudades Para Un Futuro Más Sostenible*. <http://habitat.aq.upm.es/b/n20/amvaz.html>

Vissilia, A. M., & Villi, M. (2010). Adobe and timber ties as main construction materials for an historic Greek dwelling. *International Journal of Architectural Heritage*, 4(4), 295–319. <https://doi.org/10.1080/15583050902934973>

Wang, D., Cui, K., Wu, G., Feng, F., & Yu, X. (2019). Performance and working mechanism of tension–compression composite anchorage system for earthen heritage

- sites. *Heritage Science*, 7(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s40494-019-0297-3>
- Yamín, L. E., Reyes, J. C., Phillips, C., & Ruiz, D. (2007). Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada. *Apuntes: Revista de Estudios Sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies*, 20(2), 286–303.
- Yamin, L. E., Rodríguez, Á. E., Fonseca, L. R., Reyes, J. C., & Phillips, C. A. (2003). Comportamiento sísmico y alternativas de rehabilitación de edificaciones en adobe y tapia ensayados en mesa vibratoria. *Revista de Ingeniería, Universidad de Los Andes.*, 17, 16.
- Yamín Lacouture, L. E., Bernal, C. P., Reyes Ortiz, J. C., & Ruiz Valencia, D. (2007). Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada. *Apuntes: Revista de Estudios Sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies*, 20(2), 286–303.
- Zhang, J., Li, Z., Chen, W., Wang, X., Sun, M., & Guo, Q. (2017). The properties of potassium silicate/ fly ash slurry used in the conservation of adobe structures. *Studies in Conservation*, 62(2), 114–121. <https://doi.org/10.1080/00393630.2016.1149912>

