

REPARACION Y REFORZAMIENTO DE CONSTRUCCIONES INFORMALES.

OSCAR ANDRES NAVARRO GARCIA.

ERISON QUIROZ RAMIREZ.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS.

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

BUCARAMANGA.

2012.

REPARACION Y REFORZAMIENTO DE CONSTRUCCIONES INFORMALES.

OSCAR ANDRES NAVARRO GARCIA.

ERISON QUIROZ RAMIREZ.

Trabajo de grado realizado en la modalidad de trabajo de investigación para
obtener título de ingeniero civil.

Director de proyecto:

ALVARO REY SOTO.

Ingeniero civil.

Docente escuela de ingeniería civil.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS.

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

BUCARAMANGA.

2012.

DEDICATORIA

Dedicado especialmente a JEHOVÁ, Dios único y verdadero el cual nos guía día a día por el sendero de la verdad y la justicia.

A mis padres, Eliecer Navarro y Cristina Isabel García,

Gracias a ellos por brindarnos la oportunidad de estudiar una carrera profesional y educarnos en base al respeto, la responsabilidad y la ética.

A mis abuelos Eliecer Navarro Guarín, Luis Ramón García, Rosa Navarro,
Carmen Escandón

Gracias a ellos por la confianza que depositaron en mis esfuerzos y por encontrar en ellos siempre una palabra de aliento en mis momentos difíciles.

A mis hijos, María Isabel, María José, Melissa y Oscar Julián, los cuales son la motivación y mis alegrías para emprender esta nueva senda, para brindarles un modelo a seguir enfocado a una mejor calidad de vida.

A mi esposa, Ana Mileyde Hernández,

Gracias a ella por existir en mi vida, por ser mi estandarte, mi consejera y estar siempre apoyándome en las decisiones que tomo, siempre con palabras y gestos de amor que me llenan de alegría y me conllevan a ser mejor.

En memoria de mis seres queridos:

Mi señor padre Eliecer Navarro y mi señor abuelo materno Luis Ramón García.

Dios los tenga en su gloria, sabemos que están con nosotros.

Oscar Andrés Navarro García.

DEDICATORIA

Dedicado especialmente a Dios único y verdadero el cual nos guía día a día por el sendero de la verdad y la justicia.

A mis padres, Alfonso Quiroz Bautista y Marina Ramírez de Quiroz.

A mis hermanos Diego Alfonso, Luis Gabriel, Jenny Patricia, Andrea del Pilar y Mariluz.

Gracias a ellos por brindarnos la oportunidad de estudiar una carrera profesional y educarnos en base al respeto, la responsabilidad y la ética.

En memoria a mi padre ya fallecido

Alfonso Quiroz Bautista.

Dios lo tenga en su gloria, sabemos que está con nosotros.

Erison Quiroz Ramírez.

AGRADECIMIENTOS.

Damos gracias a Dios por mantenernos con salud y permitirnos alcanzar logros cada vez mayores y la satisfacción que ellos traen en nuestras vidas y la de nuestras familias.

Agradecemos a nuestras familias y seres queridos por acompañarnos en todo el proceso de formación personal y profesional, sosteniéndonos en los momentos difíciles.

Agradecemos a la Universidad Industrial De Santander por ofrecernos los conocimientos necesarios para afrontar nuestra vida profesional siempre desde una perspectiva de ética ciudadana, a todo el plantel de maestros y personal administrativo de la facultad de ingeniería civil desde nuestro director de escuela Germán García Vera hasta nuestras amigas secretarias de la escuela Sonia y Nury quienes siempre con una cara amable y dispuestas a solucionar nuestras inquietudes de manera atenta gracias.

Agradecimiento especial a Álvaro Rey Soto director de este proyecto investigativo y docente de la escuela de ingeniería civil por guiarnos en este proyecto, por su experiencia como profesional y educador.

Mil y mil gracias a todos ustedes.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCION	19
1. ANTECEDENTES	14
1.1 PROBLEMÁTICA DE LA CONSTRUCCION DE VIVIENDAS INFORMALES	14
1.1.1 Vivienda informal en Bucaramanga.	14
1.2 EDIFICACIONES DE TIERRA CRUDA.	15
1.2.1 Efectos de los sismos en viviendas construidas en tierra cruda.	15
1.2.2 Viviendas de adobe.	17
1.2.3 Fallas en construcciones de adobe.	17
1.2.3.1 Factores influyentes en las fallas:	17
1.2.3.2 Tipos de fallas	18
1.2.4 Alternativas de rehabilitación sísmica	22
1.2.5 Metodologías de refuerzo que existen en la actualidad	23
1.2.5.1 Refuerzo con instalación de viga corona.	24
1.2.5.2 Refuerzo con tensores de acero	25
1.2.5.3 Refuerzo con bandas de malla sin vena y mortero de cal	26
1.2.6 Viviendas de tapia pisada o tapial	27
1.2.7 Fallas en construcciones de tapia pisada.	27
1.2.7.1 Factores influyentes en las fallas.	27
1.2.7.2 Tipos de fallas.	28
1.2.8 Alternativas de rehabilitación sísmica	30
1.2.9 Metodologías de refuerzo implementadas en la actualidad	31
1.2.9.1 Refuerzo con malla electrosoldada y mortero.	31
1.2.9.2 Refuerzo con recubrimiento de fibras de polietileno y mortero de cal	32

1.2.9.3 Reforzamiento con elementos confinantes de madera	32
1.3 EDIFICACIONES EN MAMPOSTERIA.	33
1.3.1 Efectos de los sismos en viviendas de mampostería	33
1.3.2 Viviendas de mampostería no confinada no reforzada	34
1.3.3 Fallas en construcciones de mampostería no confinada no reforzada.	34
1.3.3.1 Factores influyentes en las fallas	34
1.3.3.2 Tipos de fallas y daños	35
1.3.4 Alternativas de rehabilitación sísmica	36
1.3.5 Metodologías de refuerzo que existen en la actualidad	37
1.3.5.1 Reforzamiento con láminas de FCRP.	37
1.3.5.2 Reforzamiento con varillas de fibra de vidrio	39
1.3.5.3 Reforzamiento con malla electrosoldada y mortero.	40
2. CARACTERIZACION Y EVALUACION ESTRUCTURAL.	41
2.1 MATERIA PRIMA.	41
2.1.1 Selección de material de suelo para unidades de adobes.	42
2.1.1.1 Muestra de suelo I	42
2.1.1.2 Muestra de suelo II.	43
2.1.2 Selección de material de suelo para bloques de tapial	43
2.1.2.1 Muestra de suelo	43
2.1.2.2 Muestra de suelo II.	44
2.1.3 Selección de las unidades de mampostería	45
2.2 ENSAYOS DE COMPRESION SIMPLE.	45
2.2.1 Materiales de viviendas tipo I.	46
2.2.1.1 Ensayos de compresión simple a unidades de adobe.	46
2.2.2 Materiales de viviendas tipo II	48
2.2.3.1 Ensayos de compresión simple a unidades de tapia pisad	48
2.2.3 Materiales de viviendas tipo III	50

2.2.3.1 Ensayos de compresión simple a unidades de mampostería H-10	50
2.2.4 Caracterización de morteros.	51
2.3 ENSAYOS DE CARGA LATERAL CICLICA A MUROS TIPO.	53
2.3.1 Ensayos de carga lateral cíclica a muros de vivienda tipo I	55
2.3.1.1 Muros de adobe sin refuerzo (MNR1).	55
2.3.1.2 Muro de adobe reparado y reforzado (MRR1).	56
2.3.1.3 Muro de adobe reforzado (MR1)	57
2.3.2 Ensayos de carga lateral cíclica a muros de vivienda tipo II.	58
2.3.2.1 Muro de tapia pisada no reforzado (MNR2)	59
2.3.2.2 Muro de tapia pisada reparado y reforzado (MRR2).	60
2.3.2.3 Muro de tapia pisada reforzado (MR2)	61
2.3.3 Ensayos de carga lateral cíclica a muros de vivienda tipo III	61
2.3.3.1 Muros de mampostería sin refuerzo (MNR3).	62
2.3.3.2 Muro de mampostería reparado y reforzado (MRR3)	63
2.3.3.3 Muro de mampostería reforzado (MR3)	64
3. ANALISIS Y RESULTADOS.	66
3.1 MATERIA PRIMA.	66
3.1.1 Selección de material de suelo para unidades de adobes.	66
3.1.2 Selección de material de suelo para bloques de tapial.	67
3.2 ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE.	68
3.2.1 Ensayos de compresión simple a unidades de adobe	68
3.2.2 Ensayos de compresión simple a unidades de tapia pisada	69
3.2.3 Ensayos de compresión simple a unidades de mampostería H-10	69
3.3 MUROS TIPO SOMETIDOS A CARGA LATERAL CICLICA.	69
3.3.1 Muro de adobe no reforzado (MNR1)	69
3.3.2 Muro de adobe reparado y reforzado (MRR1)	71
3.3.3 Muro de adobe reforzado (MR1)	72

3.3.4 Muro de tapia pisada sin refuerzo (MNR2).	72
3.3.5 Muro de tapia pisada reparado y reforzado (MRR2).	73
3.3.6 Muro de tapia pisada reforzado (MR2)	74
3.3.7 Muro de mampostería no reforzado (MNR3).	75
3.3.8 Muro de mampostería reparado y reforzado (MRR3).	76
3.3.9 Muro de mampostería reforzado (MR3).	77
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	79
BIBLIOGRAFIA.	82
ANEXOS	85

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Edificaciones de tierra afectadas por sismos.	16
Figura 2. Mecanismo de falla tipo I.	19
Figura 3. Mecanismo de falla tipo II.	19
Figura 5. Mecanismo de falla tipo IV.	21
Figura 6. Mecanismo de falla tipo V.	21
Figura 7. Daños comunes en viviendas de adobe.	22
Figura 8. Refuerzo con viga corona con nervadura y estabilización del techo.	25
Figura 9. Refuerzo con tensores de acero.	26
Figura 10. Refuerzo con bandas de malla y mortero de cal.	26
Figura 11. Mecanismo de falla tipo I.	28
Figura 12. Mecanismo de falla tipo II.	29
Figura 13. Mecanismo de falla tipo III.	30
Figura 14. Refuerzo con malla electrosoldada y mortero.	31
Figura 15. Refuerzo con maderas confinantes.	33
Figura 16. Falla (1A MNC).	35
Figura 17. Falla (1B MNC).	36
Figura 18. Reparación de muros de mampostería.	37
Figura 19. Disposición de las fibras FCRP en muros de mampostería.	38
Figura 20. Colocación de las varillas de fibra de vidrio.	39
Figura 21. Reforzamiento con malla electrosoldada y mortero.	40
Figura 22. Curva granulométrica suelo adobe I.	42
Figura 23. Curva granulométrica suelo adobe II.	43
Figura 24. Curva granulométrica suelo tapia I.	44
Figura 25. Curva granulométrica suelo tapia II.	45
Figura 26. Unidades de adobe.	47

Figura 27. Gráfica de ensayos de compresión simple a unidades de adobe.	47
Figura 28. Bloques de tapia pisada.	49
Figura 29. Gráfica de ensayos de compresión simple a unidades de tapia pisada.	49
Figura 30. Unidades de mampostería H-10.	50
Figura 31. Gráfica de ensayos de compresión simple a unidades de mampostería H-10.	51
Figura 32. Tabla de ensayos de compresión de morteros.	52
Figura 33. Fallas de compresión de morteros.	53
Figura 34. Detalle de montaje de ensayo de carga lateral a muros tipo.	55
Figura 35. Muro de adobe sin refuerzo (MNR1).	56
Figura 36. Muro de adobe reparado y reforzado (MRR1).	57
Figura 37. Muro de adobe reforzado (MR1).	58
Figura 38. Muro de tapia pisada sin refuerzo (MNR2).	59
Figura 39. Muro de tapia pisada reparado y reforzado (MRR2).	60
Figura 40. Muro de tapia reforzado (MR2).	61
Figura 41. Muro de mampostería sin refuerzo (MNR3).	62
Figura 42. Muro de mampostería reparado y reforzado (MRR3).	64
Figura 43. Muro de mampostería reforzado (MR3).	65
Figura 44. Curvas granulometrías de suelos de adobe.	67
Figura 45. Curvas granulometrías de suelos para tapial.	68
Figura 46. Gráfica de desplazamiento vs tiempo y fuerza vs desplazamiento (MNR1).	70
Figura 47. Gráfica de desplazamiento vs tiempo y fuerza v desplazamiento (MRR1).	71
Figura 48. Gráfica de desplazamiento vs tiempo y fuerza vs desplazamiento (MR1).	72
Figura 49. Gráfica de desplazamiento vs tiempo y fuerza vs desplazamiento (MNR2).	73

Figura 50. Gráfica de desplazamiento vs tiempo y fuerza vs desplazamiento (MRR2).	74
Figura 51. Gráfica de desplazamiento vs tiempo y fuerza vs desplazamiento (MR2).	75
Figura 52. Gráfica de desplazamiento vs tiempo y fuerza vs desplazamiento (MNR3).	76
Figura 53. Gráfica de desplazamiento vs tiempo y fuerza vs desplazamiento (MRR3).	77
Figura 54. Gráfica de desplazamiento vs tiempo y fuerza vs desplazamiento (MR3).	78

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Protocolo De Carga	54
Tabla 2. Resultados De La Muestra De Suelo I Para Elaboración De Unidades De Adobes	66
Tabla 3. Resultados de la muestra de suelo I para la elaboración de bloques de tapia pisada	67

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Datos De Granulometría.	86
Anexo B. Datos De Ensayos De Compresión Simple.	89
Anexo C. Tablas Comparativas De Comportamiento De Muros Sometidos Ante Carga Laterl Ciclica.	113

RESUMEN

TITULO:

REPARACION Y REFORZAMIENTO DE CONSTRUCCIONES INFORMALES. *

AUTOR(ES):

OSCAR ANDRES NAVARRO GARCIA. **
ERISON QUIROZ RAMIREZ. **

PALABRAS CLAVES:

REPARACION, REFORZAMIENTO, CONSTRUCCIONES INFORMALES, ADOBE, TAPIA PISADA.

DESCRIPCION:

Esta investigación está dirigida hacia las edificaciones antiguas y de construcción tipo informal, también se tienen en cuenta las edificaciones que poseen una alta importancia en el patrimonio cultural de nuestro territorio, las cuales actualmente prestan un servicio mayormente de tipo vivienda y las cuales son muy vulnerables a eventos sísmicos; es de resaltar que la investigación se encamina en el tema específicamente en la rehabilitación de viviendas **YA CONSTRUIDAS**.

Se visitó las zonas periféricas de la ciudad de Bucaramanga (Morrórico, Girón, Piedecuesta y el centro de Bucaramanga) en las cuales se presenta el problema de la informalidad en la construcción de viviendas, y se determinó las viviendas tipo por medio de los materiales con los cuales fueron construidas, de lo cual se evidencio tres (3) viviendas tipo, de las cuales dos (2) fueron construidas con tierra cruda y la tercer vivienda tipo está construida con mampostería sin refuerzo y sin confinamiento. Las cuales fueron clasificadas de la siguiente manera, **vivienda de adobe** como **tipo I**, **vivienda de tapia pisada** como **tipo II** y **vivienda de mampostería no confinada** como **tipo III**.

La importancia en la cultura del departamento de las mismas, se convierte en un factor de selección del tipo de materiales y técnica de rehabilitación de las viviendas identificadas como informales. Se procede a citar las técnicas implementadas en la rehabilitación de las viviendas tipo, previamente identificadas y clasificadas, se procede a seleccionar la técnica a implementar para cada vivienda tipo, con un énfasis técnico-económico, en otras palabras se escogió la técnica que sea económica y a su vez cumpla con los objetivos del reforzamiento, utilizando materiales asequibles a los propietarios de las viviendas.

* Trabajo de grado. Modalidad trabajo de investigación.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Álvaro Rey S.

ABSTRACT

TITLE

REPAIR AND REINFORCEMENT OF INFORMALS BUILDINGS. *

AUTHOR

OSCAR ANDRES NAVARRO GARCIA. **

ERISON QUIROZ RAMIREZ. **

KEY WORDS

REPAIR, REINFORCEMENT, INFORMAL BUILDING, ADOBE, RAMMED EARTH.

DESCRIPTION

This research is directed towards the study of ancient buildings and also for informal type buildings, also taking into account the buildings that have a high importance in the cultural and religious heritage of our country, which currently provide a service mostly housing type, churches and museums which are vulnerable to seismic events. It is noteworthy that the research is aimed specifically at the issue of rehabilitation of existing homes.

Peripheral areas were visited in the city of Bucaramanga (Morrórico, Girón, Piedecuesta and Bucaramanga center) which has presented the problem of informality in housing construction and housing type were determined through the materials with which they were built, of which there were three (3) types of housing, of which two (2) were built with raw land and the third housing type is built in masonry, without reinforcement and without confinement, of which were classified to this way: **housing built in adobe as type I, housing built in rammed earth** (tapia pisada) as **type II, housing built in masonry no confinement as type III**. The importance in the culture of the department of the same becomes a factor in selection of the type of materials and techniques of rehabilitation of housing identified as informal types.

We proceeded to cite the techniques implemented in the rehabilitation of housing types, identified and classified previously, we proceed to select the technique to implement for each housing type, with an emphasis socio-economic, and in other words, we chose the technique that is more economical and in turn meets the objectives of the reinforcement, using materials affordable to homeowners.

* Work Degree. Research Work Mode.

** Faculty of Physicist Mechanics. School of Civil Engineering. Directress: Álvaro Rey So

INTRODUCCION

En algunos países latinoamericanos incluyendo Colombia, existen muchas viviendas u obras civiles que fueron construidas en la época colonial, con materiales autóctonos de cada región, entre estos materiales se encuentran el adobe y la tapia, debido a su edad, diseño y funciones estas construcciones de adobe y tapia son estructuras de tipo histórico y de legado cultural significativo dentro de las comunidades. [5]

Otras estructuras un poco menos antiguas que las de adobe y tapia son las viviendas construidas con ladrillo cocido de arcilla más conocidos como elementos de mampostería este tipo de material en la actualidad es uno de los más utilizados en la construcción estas viviendas se encuentran muy comúnmente en los asentamientos urbanos en zonas periféricas de las ciudades la mampostería es un material muy resistente pero no debe ser utilizado como elemento estructural sino como elemento no estructural.

Por otra parte Santander se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico, que amerita responsabilidad en las acciones que conlleven a elaborar normas que indiquen los procedimientos adecuados para este tipo de materiales en la construcción. Es importante recalcar que las construcciones de este tipo de materiales no tienen gran capacidad de disipar energía, por lo que son muy vulnerables a las fuerzas dinámicas, y por eso es tan difícil lograr que estos procesos cumplan con la normatividad vigente. Sin embargo, es necesario aprovechar los materiales existentes en la región, y a partir de los estudios que se han hecho, las teorías que se han propuesto y los ensayos que se han realizado, continuar la búsqueda de la mejora de estos materiales y así aprovechar al máximo nuestros recursos, y crear un entorno social más digno, donde todas las

personas puedan acceder a una vivienda de excelente calidad desde cualquier punto de vista.

Se estudiaron 3 viviendas tipo informal las cuales se clasificaron por los materiales que las conforman, la vivienda tipo I conformada principalmente de muros de adobe, la vivienda informal tipo II conformada por muros de tapia pisada y la vivienda tipo informal III conformada por muros de mampostería trabados en sus encuentros, se proponen alternativas de refuerzo para las viviendas y la selección de técnica a implementar se tiene en cuenta tanto el factor económico como el factor técnico.

Se realizaron ensayos de compresión simple a los materiales de las viviendas tipo para caracterizarlos, además se construyeron 6 muros, 2 muros de cada vivienda tipo en el laboratorio de estructuras de la Universidad Industrial de Santander, y estos muros fueron sometidos a carga lateral cíclica para comparar la resistencia de los muros originales y los muros reforzados con las técnicas seleccionadas para cada vivienda tipo.

Este documento tiene como finalidad dar a conocer alternativas de rehabilitación sísmica a viviendas de autoconstrucción con materiales asequibles a sus propietarios o habitantes, y el objetivo general de la investigación es proporcionar material bibliográfico que sirva como guía para la reparación y el reforzamiento de construcciones informales, ya que estas viviendas en particular carecen o es poca la normatividad técnica para su rehabilitación en nuestro país.

1. ANTECEDENTES

1.1 PROBLEMÁTICA DE LA CONSTRUCCION DE VIVIENDAS INFORMALES.

El problema de la construcción informal en Colombia tiene diversas causas. Entre ellas la gran densidad poblacional, los altos índices de pobreza y las fallas presentes en el mercado de suelo urbanizable y de vivienda. Para las familias de bajos ingresos, no es fácil acceder a suelo urbanizable de manera legal, lo que genera una fuerte presión sobre terrenos no aptos para la urbanización, tales como zonas marginales sin acceso adecuado a los servicios básicos, zonas de amenazas de desastres naturales como laderas, cuencas de ríos y suelos residuales, en estas zonas terminan conformándose los asentamientos ilegales. Estas causas se pueden clasificar como la problemática de tipo socio económico de la informalidad en la construcción. [1]

Por otro lado, la falta de aplicación de normatividad sismo resistente adecuada; la implementación de técnicas tradicionales de construcción y la no presencia de personal profesional en el tema de la construcción por factores económicos, es la problemática desde el punto de vista técnico económico en la informalidad en la construcción.

1.1.1 Vivienda informal en Bucaramanga.

A mediados del siglo XX en Bucaramanga se registró una fuerte inmigración proveniente de todos los municipios del Departamento y del Cesar, esto debido a su gran desarrollo industrial y comercial, lo que conllevó a la conformación de un aglomerado poblacional que se extendió hasta los municipios vecinos de Girón, Floridablanca, Piedecuesta; conllevando a la configuración de un territorio de carácter metropolitano. [2]

Esta expansión de territorio metropolitano conllevó aun incremento vertiginoso de la construcción en la ciudad, trayendo consigo la construcción empírica y artesanal de viviendas, las cuales no presentan ningún tipo de diafragma rígido por la ausencia de normatividad sismo resistente en la época que fueron edificadas, en la actualidad estas edificaciones se conservan como un legado histórico representativo de la identidad de nuestra ciudad. [2]

En la actualidad un gran porcentaje del área metropolitana de Bucaramanga y sus zonas periféricas existen viviendas muy antiguas construidas informalmente y pese a que la ciudad presenta un incremento en la construcción formal y en su forma Cosmopolitan, estas viviendas antiguas son un patrimonio cultural y es importante preservarlas de manera segura para brindarles un uso adecuado y más seguro a sus ocupantes o moradores.

1.2 EDIFICACIONES DE TIERRA CRUDA.

Considerando la alta amenaza sísmica a la que están sometidas las edificaciones de adobe y tapia pisada en Colombia y su gran vulnerabilidad ante eventos de este tipo, es necesario desarrollar alternativas de reforzamiento o rehabilitación que tengan en cuenta no solo los aspectos técnicos relacionados con el comportamiento del material y del tipo constructivo sino las condiciones socioeconómicas y las características histórico culturales de estas edificaciones. Se pretende entonces preservar al máximo la arquitectura original, utilizando en lo posible materiales similares o compatibles con los originales, tratando de conservar el aspecto general de la vivienda y sus terminados. [3]

1.2.1 Efectos de los sismos en viviendas construidas en tierra cruda. Los efectos de los terremotos a nivel mundial en los últimos 50 años, han demostrado que las edificaciones de tierra construidas en adobe y tapia pisada son estructuras

que presentan una alta vulnerabilidad sísmica. Estas construcciones en la mayoría de los casos presentan un mal comportamiento ante las fuerzas inducidas por los sismos, colapsando en forma súbita, incluso ante sismos moderados, lo que ha generado un gran número de pérdidas de vidas humanas e importantes pérdidas económicas, culturales y patrimoniales. [3]

En el país existen un gran número de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. Este tipo de edificaciones, en general, no incluyen elementos de refuerzo adecuados ni se han construido con requisitos de diseño sismo resistente. A esta situación debe sumarse la gran cantidad de edificaciones de mayor escala construidas de estos materiales como son iglesias, edificaciones institucionales, conventos, escuelas o colegios, y otro tipo de construcciones que por sus características imponen mayores exigencias sobre este mismo tipo de sistema constructivo. [6]

Figura 1. Edificaciones de tierra afectadas por sismos.



Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. A.I.S.

1.2.2 Viviendas de adobe. En la construcción de cualquier tipo de edificación, intervienen diversos factores: económicos, sociales, estructurales, ambientales, culturales y de identidad, todos relacionados con la actividad sísmica. Si bien es cierto que la construcción de este tipo de viviendas es por cultura, identidad y economía, en la actualidad toma importancia por la integración de los grupos humanos dentro de las ciudades. No se debe olvidar que Bucaramanga es una ciudad con una actividad sísmica alta, y que la vulnerabilidad en viviendas de adobe también es alta.

Una parte muy importante de una edificación es la estructural, teniendo como punto de partida, que estas viviendas son altamente vulnerables a la acción de un sismo, es necesario identificar las causas por las que fallan o colapsan, por medio de documentación escrita o gráfica, para establecer una tendencia de falla e identificar los puntos más críticos de las viviendas. [3]

1.2.3 Fallas en construcciones de adobe.

1.2.3.1 Factores influyentes en las fallas:

En muchas de las viviendas de adobe existentes, no cuentan con refuerzos estructurales que permitan hacer al sistema un tanto más dúctil, este factor es uno de los más preocupantes a la hora de un evento de catástrofe como los sismos.

Un factor importante es el proceso constructivo de la vivienda, como en cualquier edificación; una mala construcción puede dar origen a puntos débiles en la vivienda, presentándose grietas o fisuras en los muros construidos con una serie de elementos de adobe colocados en hileras, y que estas hileras deben estar unidas unas con otras. Esto se logra con un mortero colocado entre hileras, el cual se busca que tenga como mínimo una resistencia igual que el elemento que se está uniendo, ya que el muro debe comportarse como un elemento único, es decir,

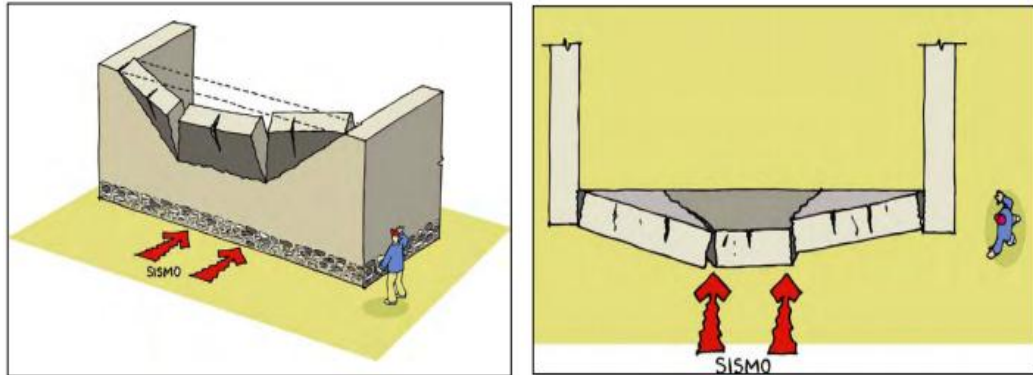
en el momento de recibir una carga y generarse esfuerzos en el muro, se debe transmitir ese efecto en los adobes y en el mortero como si éstos fueran uno solo. Así mismo, se debe considerar como factores influyentes en las fallas presentadas en este tipo de viviendas algunos defectos constructivos tales como:

- La excesiva relación longitud y altura del muro.
- No contar con muros transversales que le ayuden como refuerzo.
- Un pobre anclaje entre muros.
- Perdida de verticalidad o plomo en los muros.
- Irregularidades en planta y en altura.
- Problemas de humedad.
- Ausencia de un diafragma rígido.
- Cubierta pesada y no hay estructuración de cercha.

1.2.3.2 Tipos de fallas. Los mecanismos de falla y el tipo de agrietamiento respectivo más probables que se pueden presentar en las edificaciones convencionales de adobe son las siguientes:

➤ **Tipo I:** Falla por flexión perpendicular al plano del muro con agrietamiento horizontal en la base o a una altura intermedia y agrietamientos verticales adicionales que constituyen el mecanismo de falla [3].

Figura 2. Mecanismo de falla tipo I.

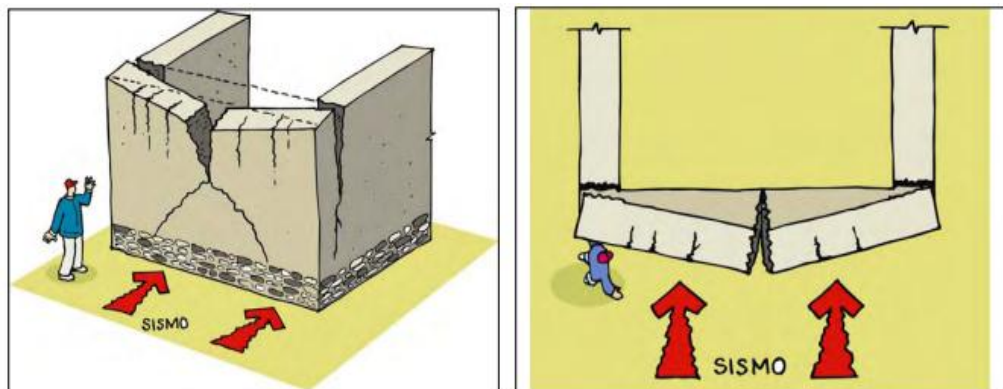


Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. A.I.S.

- **Tipo II:** Falla por flexión perpendicular al plano del muro con agrietamiento vertical en la zona central, agrietamiento diagonal que constituye el mecanismo de falla y fisuración en la parte superior por falta de refuerzo y confinamiento. [3]

Este tipo de falla se presenta principalmente en muros altos y cortos o muy largos con restricciones laterales poco espaciadas.

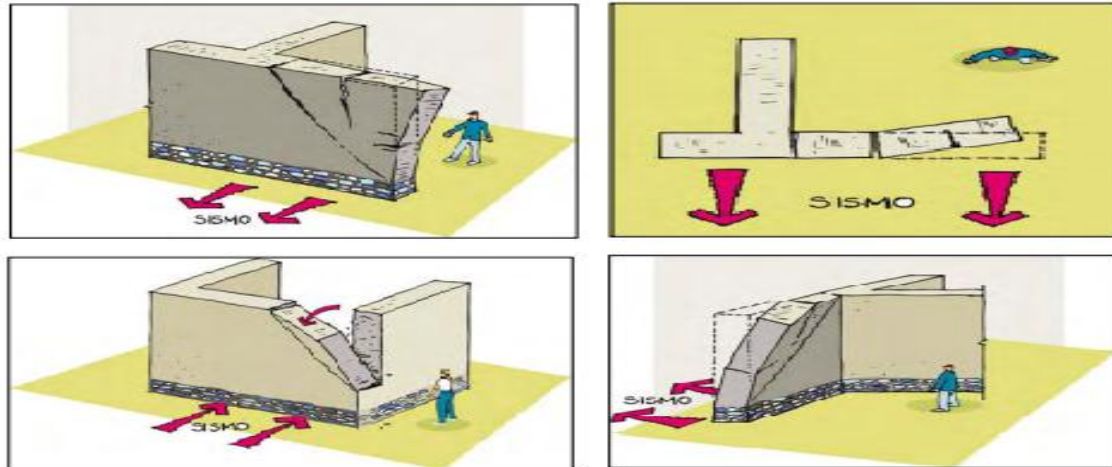
Figura 3. Mecanismo de falla tipo II.



Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. A.I.S.

- **Tipo III:** Falla por flexión perpendicular al plano en las esquinas no confinadas de muros sueltos, o en esquinas no conectadas efectivamente con los muros transversales de restricción al mismo. [3]

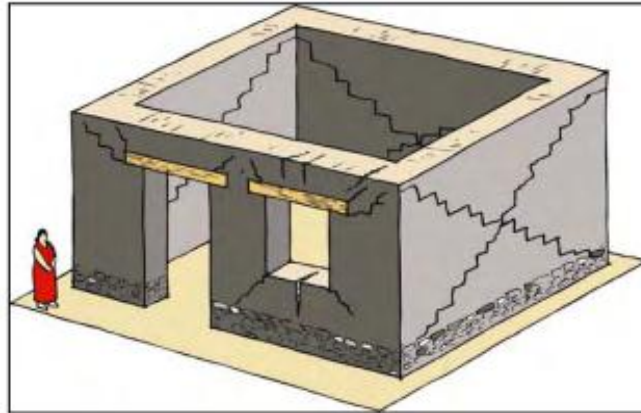
Figura 4. Mecanismo de falla tipo III.



Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. A.I.S.

- **Tipo IV:** Falla por cortante en el plano del muro asociada a altos empujes horizontales. En muchos casos estos agrietamientos están asociados a entrepisos y cubiertas muy pesadas o con sobrecarga y se ven magnificados con las aberturas correspondientes a las puertas y ventanas en los muros. [3].

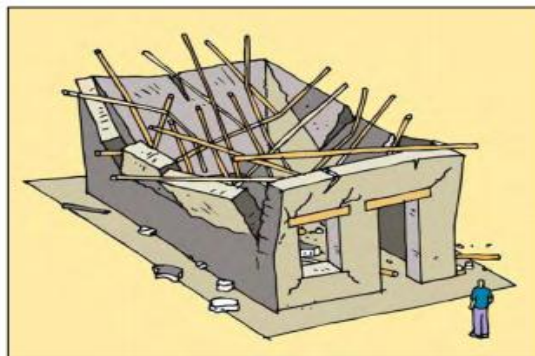
Figura 5. Mecanismo de falla tipo IV.



Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. A.I.S.

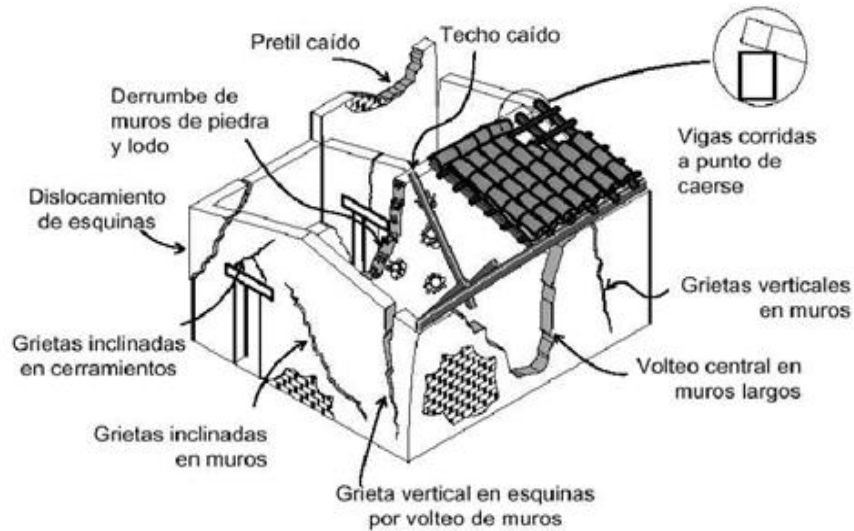
- **Tipo V:** Falla presentada por la caída de la cubierta hacia el interior de la vivienda, por encontrarse mal apoyada sobre los muros o porque los muros presentan cualquiera de las deficiencias anteriores del tipo 1 al tipo 5. [3]

Figura 6. Mecanismo de falla tipo V.



Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. A.I.S.

Figura 7. Daños comunes en viviendas de adobe.



Fuente: Alternativa de refuerzo contra efectos de sismo, para viviendas de adobe existentes.

1.2.4 Alternativas de rehabilitación sísmica. Las alternativas de rehabilitación propuestas conforman una serie de recomendaciones que buscan disminuir el riesgo sísmico al que está sometido este tipo de edificaciones. Se pretende en lo posible evitar la ocurrencia del colapso de la edificación durante el evento sísmico o en lo posible retardar dicho colapso para permitir la salida de los ocupantes. El objetivo de estas medidas de rehabilitación no está centrado en la protección de la propiedad ni en la minimización de los daños, ya que debido a las características mismas de estos materiales y técnicas constructivas, esto requeriría mayores niveles de intervención que los propuestos. Por otro lado, también debe advertirse que las medidas propuestas están dirigidas únicamente a la rehabilitación de viviendas existentes y no a la construcción de nuevas viviendas.

Las edificaciones en adobe presentan dos grandes deficiencias que las hacen altamente vulnerables frente a la acción de los sismos:

La primera de ellas es la falta de un diafragma rígido y adecuadas conexiones de éste con los muros de soporte en el plano de los entresijos y de la cubierta, el cual, de existir, podría garantizar que las cargas horizontales sean absorbidas por los elementos más rígidos en cada plano de la edificación.

La segunda consiste en que la capacidad a flexión de los muros de tierra sin carga vertical es prácticamente nula.

De otro lado, las cargas dinámicas producen una importante degradación de las propiedades de cohesión entre las partículas que conforman los muros de tierra, que ya de por sí son bajas al compararlas con las propiedades mecánicas de otros materiales. Cuando los muros se agrietan en sus extremos laterales, se pierde el trabajo de la edificación como un conjunto y cada muro tiene que absorber el sismo de manera independiente. Teniendo en cuenta estas consideraciones, es necesario proporcionarles capacidad a la flexión tanto en la dirección del plano del muro como en su dirección perpendicular. Con estas disposiciones, las medidas de rehabilitación propuestas son:

- Disminuir la masa de las edificaciones.
- Proporcionar en la medida de lo posible, un diafragma rígido con adecuadas conexiones y contactos a los muros perimetrales.
- Proporcionar capacidad a la flexión a los muros estructurales principales de la edificación tanto en el plano del mismo como fuera del plano. [3]

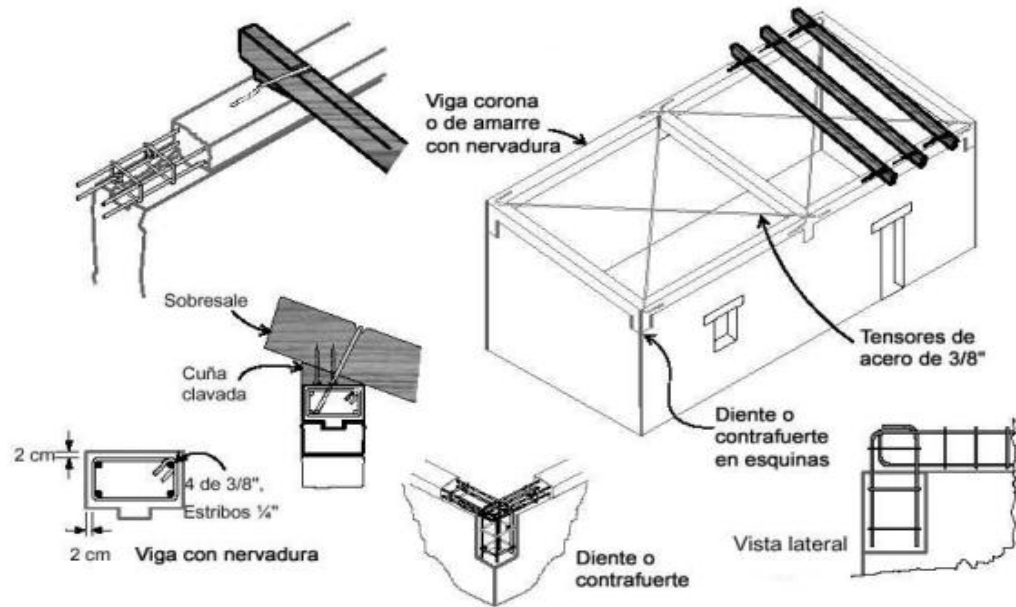
1.2.5 Metodologías de refuerzo que existen en la actualidad. A nivel Latinoamericano estudios en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) de la USAC, en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), con el fin de establecer las propiedades

mecánicas del adobe, como su resistencia a la compresión, tensión y corte; así como también las proporciones necesarias y materiales para elaborarlo y sus dimensiones y forma. Pero, también se ha estudiado el adobe como sistema constructivo, el tipo de mortero para unir las unidades de adobe, la cimentación de los muros de adobe, la altura, espesor y largo de los muros, el tamaño y la cantidad de aberturas o vanos en los muros, entre otros.

Todas estas investigaciones han arrojado resultados útiles para proponer soluciones estructurales que ayuden a prevenir o retrasar el colapso de viviendas de adobe con rapidez. Existen diferentes soluciones tanto para nuevas viviendas como para viviendas existentes. Este estudio se enfoca en una alternativa para viviendas existentes. [17]

1.2.5.1 Refuerzo con instalación de viga corona. Consiste en la colocación de una viga en la parte superior de los muro y alrededor de todo el perímetro de la casa de adobe, esta viga corona puede ser de madera o de concreto, dado a que pueden presentarse efectos de contracción del fraguado en la viga, se puede correr el riesgo de que la conexión entre el muro de adobe y la viga corona se pierda en el caso de que esta sea de concreto. Por esta razón se recomienda que esta viga posea una nervadura en las inmediaciones de las esquinas de los muros con el fin de garantizar un mejor comportamiento. Esta alternativa va acompañada de elementos de confinamiento verticales embebidos en el muro llamados dientes o contrafuertes, además se muestra una solución para estabilizar el techo y los muros mediante tensores de acero.

Figura 8. Refuerzo con viga corona con nervadura y estabilización del techo.

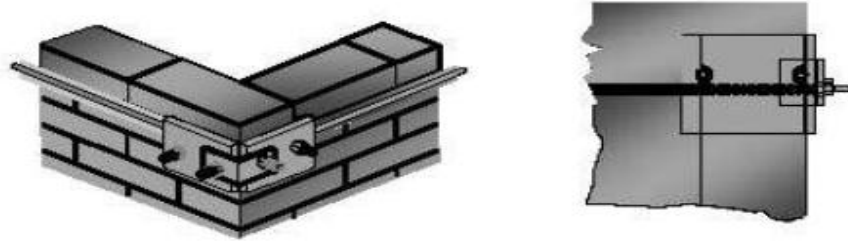


Fuente: Métodos de refuerzo para la vivienda rural de autoconstrucción.

Esta técnica nos ayuda a reforzar la vivienda en una dirección en el plano horizontal, obteniendo buenos resultados, pero para lograr mejores resultados ante efectos de sismo lo ideal es reforzar este tipo de viviendas tanto en sentido horizontal como en sentido vertical. [17]

1.2.5.2 Refuerzo con tensores de acero. Otro método utilizado es colocar varillas de acero en sentido horizontal, como tensores, en la parte superior de los muros, tanto dentro como fuera de la vivienda, los cuales pueden ser ligeramente pos tensionados y así compresionar el muro. Estas varillas de acero se anclan en los extremos con platinas de acero o madera y se colocan en una pequeña hendidura en el muro, se protege con un mortero o con adobe. [17]

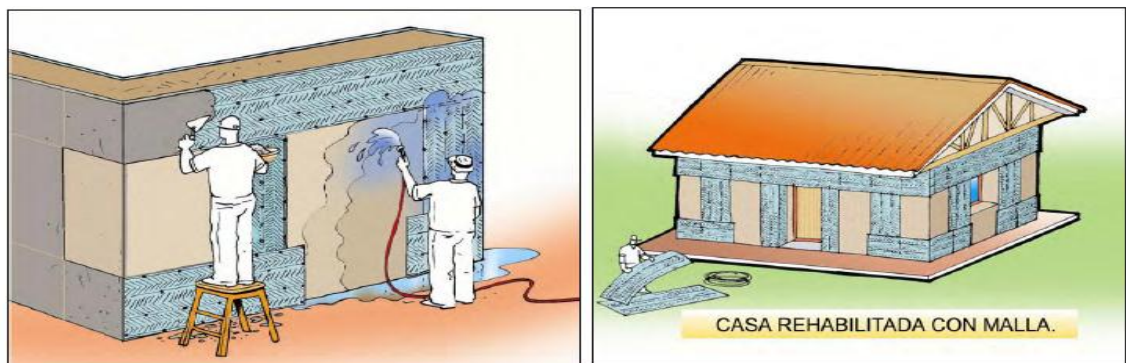
Figura 9. Refuerzo con tensores de acero.



Fuente: Métodos de refuerzo para la vivienda rural de autoconstrucción.

1.2.5.3 Refuerzo con bandas de malla sin vena y mortero de cal. Otra alternativa de refuerzo es el método de bandas de malla sin vena y mortero de cal, las cuales se ubican en franjas simulando vigas y columnas, el cual será descrito, estudiado y analizado en posteriores capítulos, ya que es el método a implementar para el reforzamiento de este tipo de viviendas construidas informalmente en adobe, es una solución muy efectiva y su costo es más bajo que otras alternativas mencionadas anteriormente. [3]

Figura 10. Refuerzo con bandas de malla y mortero de cal.



Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. A.I.S.

1.2.6 Viviendas de tapia pisada o tapial. Las viviendas de tapia pisada es un tipo de construcción en base de tierra húmeda apisonada, muy usado en nuestro departamento debido a la rapidez en su construcción y a su bajo costo, esta tecnología mecanizada para ejecutar muros de barro apisonado con relación a la construcción convencional con ladrillos no es solo una alternativa viable desde el punto de vista ecológico sino económico en comparación con técnicas en las que el barro se utiliza en estado más húmedo la técnica del tapial brinda una retracción mucho más baja y una mayor resistencia. [16]

La ventaja de la construcción de tapia con relación a la construcción con adobe es que es una construcción monolítica y por ello tiene una mayor durabilidad. Otra ventaja de la técnica de construcción de tapia frente a la técnica de adobe es que permite levantar directamente los muros en *in situ* sin requerir de la fabricación previa de los elementos constructivos. [13]

1.2.7 Fallas en construcciones de tapia pisada.

1.2.7.1 Factores influyentes en las fallas. En esta técnica de tapia pisada, el método constructivo es menos incidente como factor influyente de fallas en la vivienda a diferencia que en el adobe ya que siguiendo los mínimos requerimientos de la técnica como son una adecuada instalación del encofrado el espesor de las capas de tierra no sean mayores a las recomendadas (10 a 15 cm), la humedad del material sea lo más óptima posible y el apisonado de los muros tenga como mínimo los golpes recomendados. Estas viviendas resultan vulnerables ante los sismos debido a factores tales como:

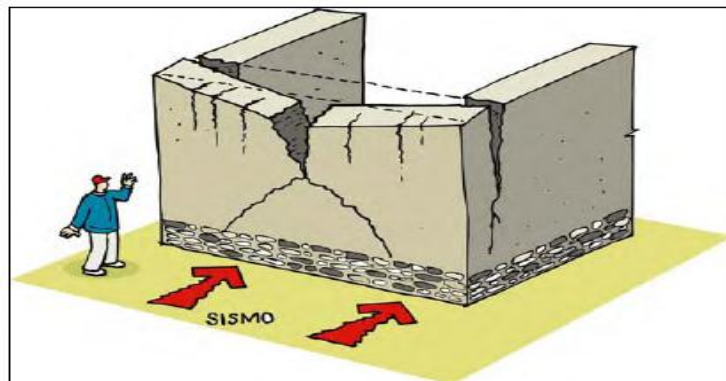
- Su gran masa.
- Las fisuras producidas por la contracción de secado.

- La debilidad de sus juntas de construcción.
- La pobre conexión entre los muros ortogonales. [12]

1.2.7.2 Tipos de fallas. Las fallas en las construcciones de tapia pisada son básicamente similares a las que se presentan en las construcciones de adobe, se atribuyen principalmente a su poca resistencia a tracción y a la reducida adherencia entre tapias.

➤ **Tipo I:** Falla por flexión generada por las fuerzas sísmicas que actúan sobre los muros, estas fuerzas producen esfuerzos de tracción en los encuentros de muros transversales y en las esquinas superiores. Debido a la poca resistencia a la tracción de los muros, se generan grietas en la parte superior, ocasionando separación de los muros. [16]

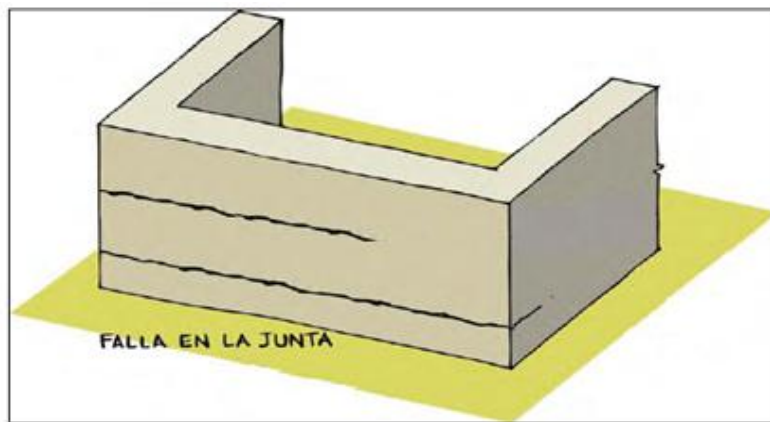
Figura 11. Mecanismo de falla tipo I.



Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. A.I.S.

- **Tipo II:** Falla por corte-fricción generada por la acción de fuerzas horizontales que actúan paralelas al plano del muro, produciendo grietas por esfuerzo cortante, las que generalmente presentan una orientación horizontal por las juntas del muro, dividiéndolo en bloques que colapsaran por volteo. [3]

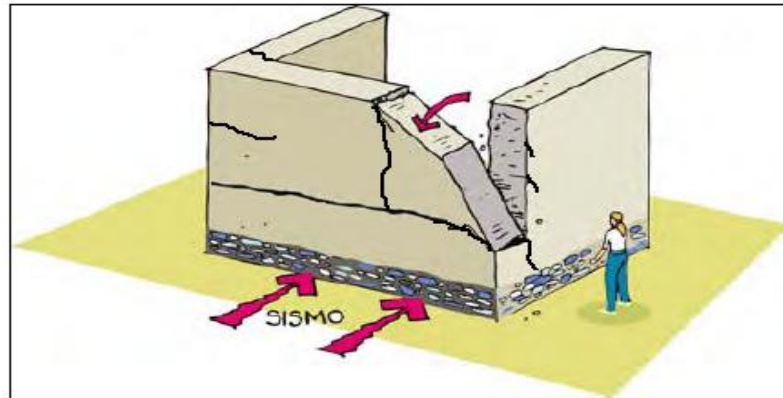
Figura 12. Mecanismo de falla tipo II.



Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. A.I.S.

- **Tipo III:** Falla por volteo ocasionada una vez separados los muros debido a la falla de sus uniones, estos se comportaran como sólidos rígidos independientes, los que serán sometidos a grandes fuerzas sísmicas. Estas fuerzas generaran momentos actuantes que serán contrarrestados por el peso de muros, si el momento actuante es mayor al resistente, el muro se desploma y colapsa el techo. [3]

Figura 13. Mecanismo de falla tipo III.



Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. A.I.S.

1.2.8 Alternativas de rehabilitación sísmica. Las alternativas de rehabilitación propuestas conforman una serie de recomendaciones que buscan disminuir el riesgo sísmico al que está sometido este tipo de edificaciones. La tapia al igual que el adobe sufre con los cambios de humedad de fisuras por contracción del material, los que nos obliga a encontrar diversas maneras de reparación, su gran masa es otro de los inconvenientes que afronta estas viviendas ya que al fisurarse las uniones de los muros la estructura pierde su propiedad monolítica, es cuando los muros tienen que soportar las fuerzas sísmicas independientemente. [12]

Debido a que los muros delgados son débiles a los impactos horizontales perpendiculares y ya que los refuerzos de hormigón armado son costosos, se propone una solución simple de estabilización mediante la forma angular, es decir elementos de uniones de muros en forma de L, T, U, X, que solo por su forma proveen resistencia al volcamiento y al colapso. [12]

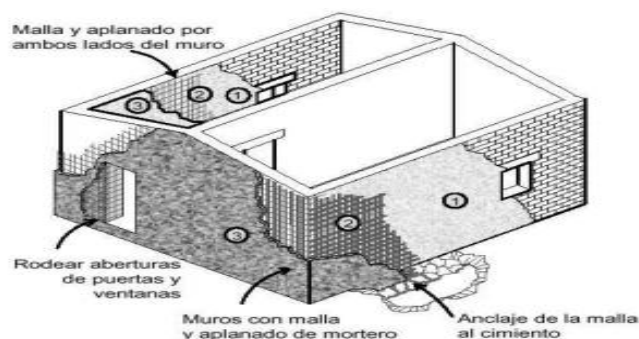
Este tipo de construcción debe ser lo más impermeabilizado posible, ya que los cambios de humedad que presente afectaran la compactación y resistencia de sus elementos (muros de carga), un recubrimiento óptimo es una alternativa que se

convierte casi en una necesidad constructiva depende esto mucho del entorno en el que la vivienda se construya el recubrimiento puede ser de mortero de cal y arena o de cemento y arena.

1.2.9 Metodologías de refuerzo implementadas en la actualidad. A continuación se mencionaran varias técnicas implementadas en el reforzamiento estructural de estructuras construidas con tierra apisonada. Las cuales son muy similares a las implementadas anteriormente con el adobe

1.2.9.1 Refuerzo con malla electrosoldada y mortero. Esta técnica es similar a la técnica implementada en los muros de adobe con la malla electrosoldada y mortero. Los anclajes de la malla con el muro utilizando pasadores de alambre No 8, estos anclajes se ubican equidistantes en toda la sección del tapial tanto en sentido horizontal como vertical, y los traslapos de la malla se recomienda hacerlos en la tercera parte de la longitud de la tapia y no en el centro, posteriormente instalada la malla electrosoldada se procede a recubrir la tapia con un mortero o friso para evitar variaciones de humedad y otros agentes externos que debiliten la consistencia del muro de tapia pisada. [3]

Figura 14. Refuerzo con malla electrosoldada y mortero.



Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. A.I.S.

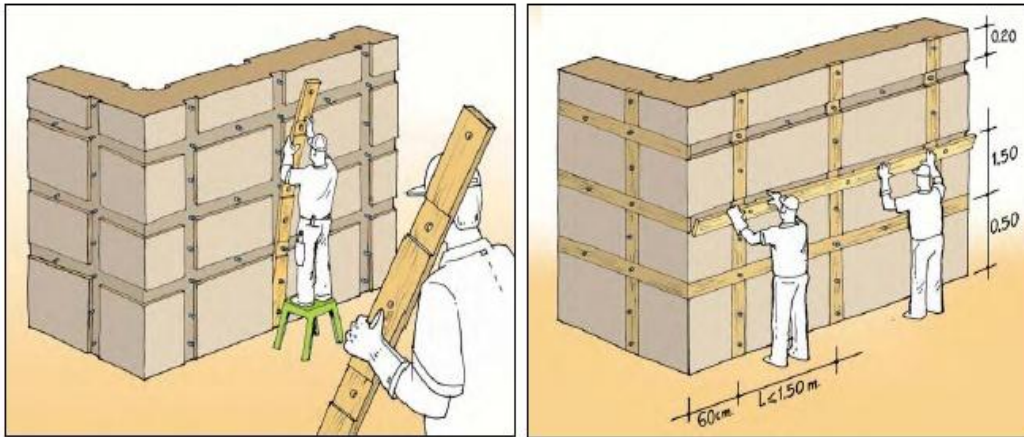
1.2.9.2 Refuerzo con recubrimiento de fibras de polietileno y mortero de cal.

Esta técnica de reforzamiento con fibras de polietileno, más conocidos como los sacos o bultos donde se empacan varios alimentos como arroz, azúcar y otros materiales. Clavan las capas de las fibras a la tapia mediante puntillas de 2 ½ pulgadas distribuidas en forma equidistante sobre toda la superficie de los muros, luego se procede a recubrir las fibras con mortero de cal para mejorar la adherencia de las fibras con la tapia y además garantizar la impermeabilidad de la misma.

Esta técnica de reforzamiento de tapia pisada es muy económica respecto a las demás técnicas, pero el incremento de la resistencia del muro es mucho menor ya que estas fibras son muy resistentes en sentido de tensión pero no a la compresión.

1.2.9.3 Reforzamiento con elementos confinantes de madera. Esta alternativa consiste en la instalación de refuerzos horizontales y verticales en madera con el fin de aumentar la resistencia a la flexión de los muros y mantener la unidad de la estructura. Los elementos deben colocarse tanto por la cara externa como por la cara interna del muro. Los elementos horizontales de los muros se unen mediante platinas de acero de manera que se evite la desarticulación de los diferentes muros y se mantenga siempre unida la edificación. En principio no se pretende rigidizar los muros sino reforzarlos de manera que la sección del muro trabaje como una sección compuesta de tierra y madera. La compatibilidad de deformaciones entre los dos materiales se garantiza mediante pernos colocados cada 50 cm y mediante tornillos pasantes. (Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada). [6].

Figura 15. Refuerzo con maderas confinantes.



Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. A.I.S.

1.3 EDIFICACIONES EN MAMPOSTERÍA.

La historia cuenta que la mampostería es uno de los materiales constructivos más utilizados a lo largo de ella. Razones como el bajo costo, disponibilidad, facilidad de fabricación y durabilidad hacen que este material constructivo siga vigente al pasar el tiempo. Motivos como la protección que ofrece contra el fuego, el aislamiento térmico y acústico, la distribución de espacios y mejora en la apariencia estética, más allá de la construcción de viviendas, son argumentos que dan peso a la decisión de emplearlos.

1.3.1 Efectos de los sismos en viviendas de mampostería. Las viviendas construidas en mampostería no estructural presentan una gran vulnerabilidad ante eventos sísmicos, los que las convierte en una amenaza o gran riesgo para sus habitantes, este material al ser frágil a solicitaciones de los sismos y como es uno de los materiales que más abunda en la construcción de viviendas en nuestro

país, es la responsable de un gran número de pérdidas tanto materiales como de vidas humanas. En el caso de nuestro país sismos como el del eje cafetero, ocurrido el 25 de enero de 1999, el cual provocó daño a miles de compatriotas sobre todo de los estratos medio y bajo, donde cerca de 50.000 construcciones sufrieron daño total o parcial, concentrado en aquellas edificaciones antiguas, de mampostería no reforzada ni confinada y casas principalmente. [20]

1.3.2 Viviendas de mampostería no confinada no reforzada. Estructuralmente uno de los factores más importantes en una construcción, es la capacidad de soportar cargas sísmicas mediante un diafragma sismoresistente, y muchas viviendas construidas en mampostería carecen de un sistema de disipación de energía, siendo la mampostería la encargada de soportar estas cargas dinámicas, ante esto necesario e importante desarrollar estrategias preventivas de rehabilitación y reforzamiento de la albañilería para viviendas ya construidas; por lo que, desde hace algunos años se ha realizado, en varios países, diferentes estudios y ensayos de laboratorio con modelos a escala que han permitido obtener varias técnicas de reforzamiento. [22]

1.3.3 Fallas en construcciones de mampostería no confinada no reforzada.

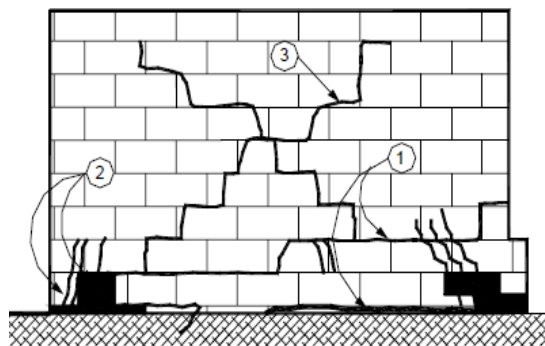
1.3.3.1 Factores influyentes en las fallas. Unos de los daños más comunes en las estructuras durante los sismos es la fracturación o falla de la mampostería, es el problema más frecuente durante el evento de sismo y sus réplicas pues la mampostería al fracturarse o al fallar es la causante de la mayoría de pérdidas humanas, la mampostería es un elemento muy vulnerable ante las cargas sísmicas coplanares y fuera del plano, lo que ocasiona la mayoría de veces, el colapso total de la estructura, pues por lo general la mampostería está trabajando como parte del sistema de soporte de la estructura. [20]

1.3.3.2 Tipos de fallas y daños. Los mecanismos de falla y el tipo de agrietamiento respectivo más probables que se pueden presentar en las edificaciones convencionales de mampostería no confinada son las siguientes:

➤ **Tipo I: (1A MNC)** Fisuración por flexión / aplastamiento de borde / deslizamiento de junta.

1. Fisuras horizontales mortero descascarado en las juntas de la base del muro indicando que ha ocurrido un corrimiento en el plano hasta 12mm de ancho.
2. La fisuración en escalera es muy pronunciada. Las unidades de mampostería se deslizan de su apoyo inferior.
3. La base inferior del muro comienza a desintegrarse.
4. El desplazamiento residual es tan grande que las unidades de mampostería del borde están por caerse.
5. La capacidad de carga vertical se disminuye. [21]

Figura 16. Falla (1A MNC).

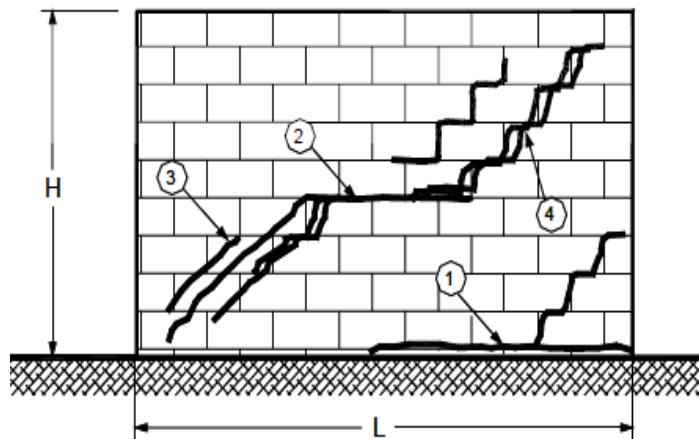


Fuente: Patologías de mampostería no estructural PDF.

➤ **Tipo II: (1B MNC)** Fisuración por flexión / aplastamiento del borde inferior.

1. Fisuras horizontales en la junta de pega en el extremo inferior del muro.
2. Fisuras horizontales en la parte central del muro Con corrimiento a lo largo de la grieta.
3. Fisuración diagonal en el borde inferior del muro, posiblemente a través de las unidades de mampostería, con algo de descascaramiento.
4. Grandes fisuras en parte superior, diagonales para muros con $L/H > 1.5$, verticales para dimensiones menores. [21]

Figura 17. Falla (1B MNC).

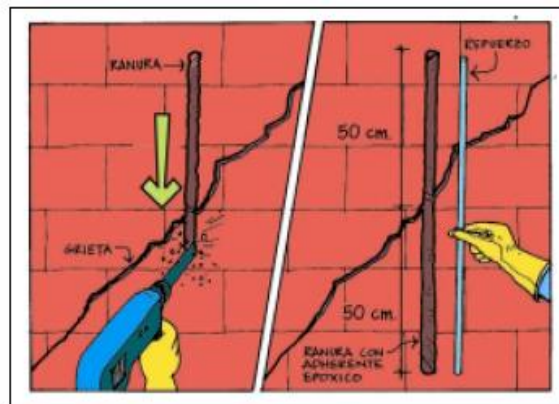


Fuente: Patologías de mampostería no estructural PDF.

1.3.4 Alternativas de rehabilitación sísmica. Al presentarse las fisuras causadas por las fallas anteriormente presentadas, las viviendas de mampostería no estructural se proceden a ser reparadas de diversas formas. Una de las formas más utilizadas en nuestro medio es la costura de grietas, la cual consiste en

reparar las grietas embebiendo varillas simulando costura, posteriormente se llenan las grietas con mortero 1:3. [23]

Figura 18. Reparación de muros de mampostería.



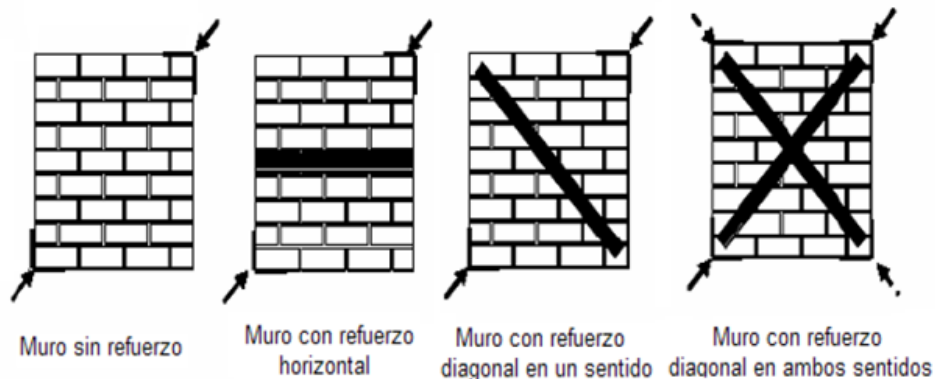
Fuente: Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismorresistente de viviendas de mampostería A.I.S.

1.3.5 Metodologías de refuerzo que existen en la actualidad. Estas técnicas aportan mayor capacidad de carga a la estructura y disminuyen su vulnerabilidad sísmica, y se caracterizan por dar ductilidad a la mampostería, mantener la unidad estructural y reducir casi por completo las fallas frágiles y explosivas que se presentan comúnmente estos elementos durante un sismo. [20]

1.3.5.1 Reforzamiento con láminas de FCRP. El FCRP (fibra de carbón reforzada con polímeros) es un material hecho con fibras de alta resistencia (vidrio o carbón) entretejidas a una matriz de resinas de polímeros. La técnica de reforzamiento de FCRP consiste en lanzar chorros de arena a la superficie del muro, de tal forma que la superficie quede áspera y la lámina se adhiera a la mampostería.

Esta técnica de reforzamiento de mampostería de ladrillo, permite que la tela o lámina de FCRP absorba los esfuerzos de tensión ocasionados durante el sismo, y disminuya los esfuerzos de corte que soporta el muro. En algunos países de Latinoamérica como Chile. Las investigaciones que se han realizado sobre este tipo de reforzamiento han demostrado que el uso del FCRP aumenta la rigidez de los muros y disminuye el espesor y extensión de las fisuras gruesas, por lo tanto se presentan menos fallas frágiles por corte, a sí mismo se ha comprobado que es mejor colocar las láminas de FCRP de forma diagonal, pues se reduce considerablemente los esfuerzos cortantes y puede incrementarse la resistencia del conjunto mampostería - FCRP hasta un 70%. [25]

Figura 19. Disposición de las fibras FCRP en muros de mampostería.



Fuente: Experimental investigation of masonry panels externally strengthened with CFRP laminates and fabric subjected to in plane shear load. Vancouver Canadá.

Sin embargo esta técnica presenta un gran inconveniente, pues cuando los muros de mampostería son sometidos a grandes esfuerzos de compresión, se produce el desprendimiento de las láminas de FCRP.

1.3.5.2 Reforzamiento con varillas de fibra de vidrio. El reforzamiento de mampostería con varillas de fibra de vidrio es una técnica viable, no solo por sus propiedades mecánicas sino también desde el punto de vista estético y económico, pues sus características permiten mantener el espesor de la pared y presenta alta resistencia a la corrosión. Además el costo de su instalación es bajo. A diferencia de la técnica anterior, la utilización de las varillas de fibra de vidrio no requiere preparar la superficie por métodos abrasivos, pues las varillas se colocan en el interior de las juntas horizontales. [26]

En primer lugar se debe hacer una ranura en a lo largo de las juntas horizontales (mortero) de la mampostería y quitar el polvo con aire comprimido, luego se aplica una capa de epóxico (pega), se coloca la varilla en la junta y finalmente se enrasa el epóxico.

Figura 20. Colocación de las varillas de fibra de vidrio.



Fuente: Técnicas de reforzamiento de mampostería P.D.F.

1.3.5.3 Reforzamiento con malla electrosoldada y mortero. Este sistema es un refuerzo continuo en toda la vivienda, consiste en recubrir la vivienda, tanto dentro como por fuera con una malla electrosoldada clavada en el muro mediante pernos pasantes ubicados cada 50 centímetros. [26]

Posteriormente instalada la malla se procede a recubrir la superficie del muro reforzado con un mortero de dosificación 1:4. Esta técnica de reforzamiento será implementada para el estudio experimental de la vivienda tipo III por ser de fácil aplicación y más económica que las otras técnicas mostradas anteriormente.

Figura 21. Reforzamiento con malla electrosoldada y mortero.



Fuente: Técnicas de reforzamiento de mampostería PDF.

2. CARACTERIZACION Y EVALUACION ESTRUCTURAL.

En este capítulo se presentan los ensayos de laboratorio realizados en el edificio Álvaro Beltrán Pinzón, ubicado en la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

En principio y basándose en las granulometrías de suelos recomendadas para la elaboración tanto de las unidades de adobes como los bloques de tapia, se selecciona el suelo que este en el rango de dichas recomendaciones, es importante resaltar que el adobe y la tapia pisada son materiales de autoconstrucción y no son unidades prefabricadas como a diferencia de los ladrillos de mampostería que su selección se debe a el tipo de ladrillo, acabado deseado y dimensiones estándares. Posteriormente se realizan ensayos de compresión simple a unidades de materiales de cada vivienda tipo (adobe, tapial y mampostería no confinada no reforzada).

Posteriormente de la caracterización de los materiales y morteros implementados tanto en la construcción como en la reparación y reforzamiento de los muros tipo, se realizaron los ensayos dinámicos de carga lateral cíclica a los especímenes de muros de las viviendas en estudio los cuales son especificados en el capítulo de los ensayos de carga lateral cíclica.

2.1 MATERIA PRIMA.

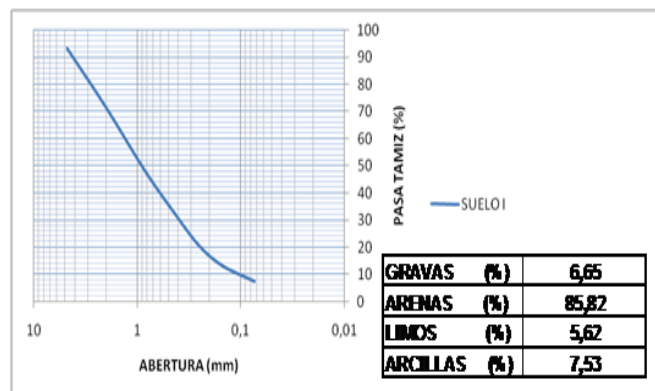
Se hicieron ensayos de granulometría a muestras de varios tipos de suelos de la región para determinar cuál de estos suelos cumplía con las características ideales recomendadas para la fabricación de las unidades de adobe y las secciones de tapia pisada, para los ladrillos cocidos su selección se determinó por

medio de los cuales son más comunes y más implementados en las viviendas de mampostería.

2.1.1 Selección de material de suelo para unidades de adobes. Los suelos están conformados por la mezcla, en distintas proporciones de cuatro elementos principalmente: gravillas, arenas, limos y arcillas, en una granulometría adecuada, una proporción aceptable puede ser la siguiente: arena 55 a 80 %, limos 10 a 28 %, arcillas 15 a 18 %, con esta granulometría recomendada para la elaboración de las unidades de adobes se tomaron dos muestras de dos tipos diferentes de suelos para seleccionar la que se ajuste más a los rangos recomendados. [24] En el anexo A se encuentran las tablas con las cuales se realizaron las curvas granulométricas de los ensayos de los suelos.

2.1.1.1 Muestra de suelo I. La muestra de este suelo fue recolectada en una ladrillera ubicada en el kilómetro 9 de la vía Bucaramanga-Bogotá, donde se acopia material de distintas obras que se realizan en este municipio. Se tomó como muestra inicial 1032.5 gramos, se obtuvo la siguiente curva granulométrica y los siguientes resultados.

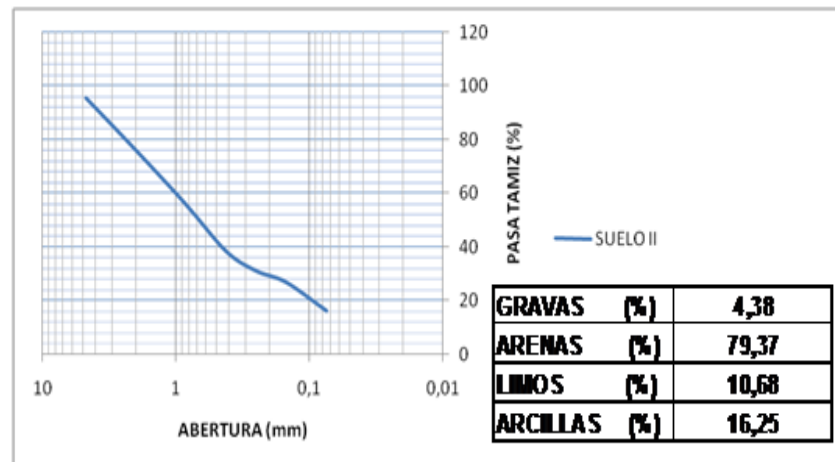
Figura 22. Curva granulométrica suelo adobe I.



Fuente: Los autores.

2.1.1.2 Muestra de suelo II. La muestra de este suelo fue recolectada en una ladrillera ubicada en el kilómetro 9 de la vía Bucaramanga-Bogotá, donde se acopia material de varias obras que se realizan en este municipio. Se tomo como muestra inicial 1078.4 gramos, se obtuvo la siguiente curva granulométrica y los siguientes resultados.

Figura 23. Curva granulométrica suelo adobe II.



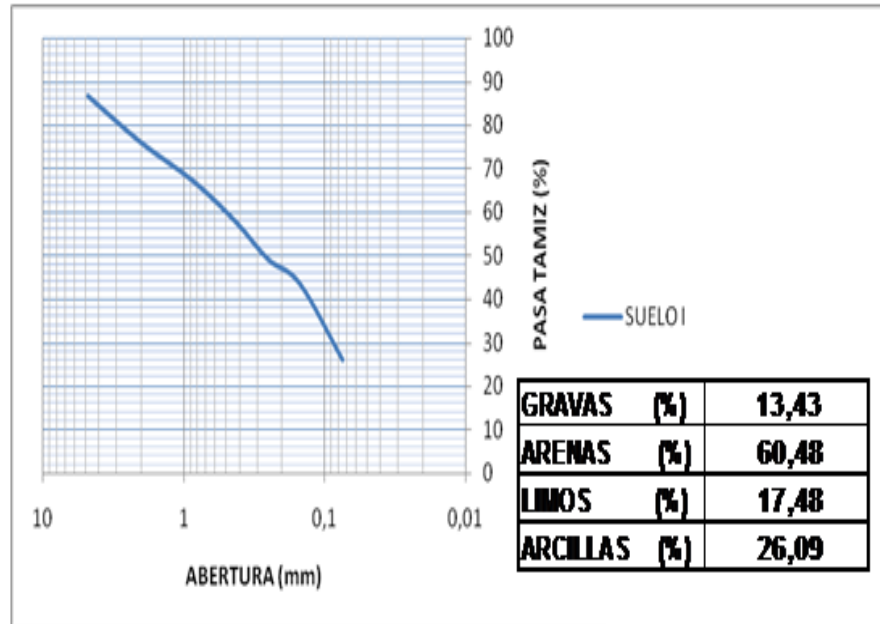
Fuente: Los autores.

2.1.2 Selección de material de suelo para bloques de tapial. No todas las tierras son adecuadas para la construcción de tapia pisada: se estima que la mejor tierra debe estar compuesta por, Gravilla de 0 a 15%, Arenas de 40 a 60%, Limos de 3,5 a 20% y Arcillas de 15 a 25%.

2.1.2.1 Muestra de suelo I. Esta muestra de suelo se extrajo de una excavación realizada en las instalaciones de la Universidad Industrial de Santander, se tomo

una muestra de 1125.6 gramos, se obtuvo la siguiente curva granulométrica y los siguientes resultados.

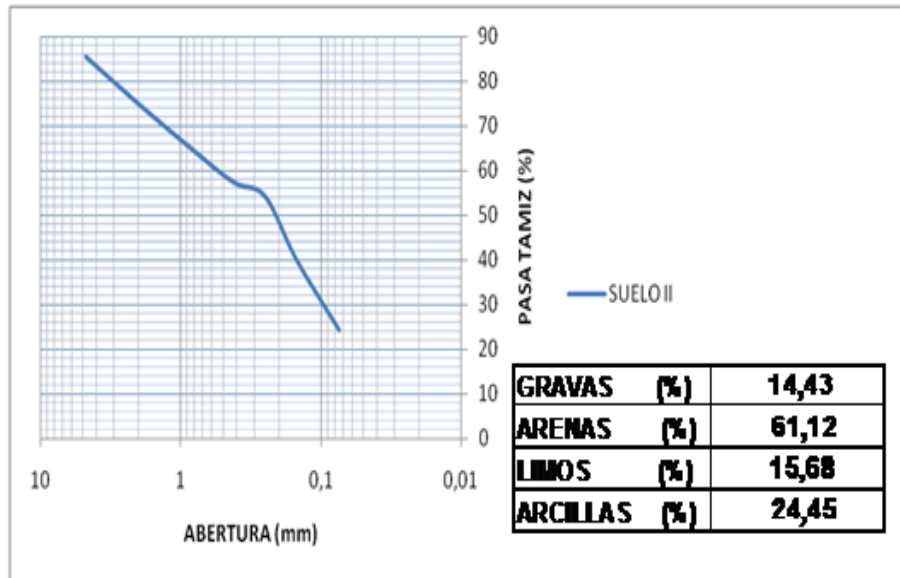
Figura 24. Curva granulométrica suelo tapia I.



Fuente: Los autores.

2.1.2.2 Muestra de suelo II. Esta muestra de suelo se extrajo de una obra ubicada en la carrea 24 con calle 8, se tomó una muestra de 1018.7 gramos, se obtuvo la siguiente curva granulométrica y los siguientes resultados.

Figura 25. Curva granulométrica suelo tapia II.



Fuente: Los autores.

2.1.3 Selección de las unidades de mampostería. La selección de los ladrillos de mampostería básicamente se tuvo en cuenta el tipo de ladrillo más utilizado comúnmente en la construcción de muros de mampostería de las viviendas. El ladrillo utilizado para los ensayos fue el H-10.

2.2 ENSAYOS DE COMPRESION SIMPLE.

En esta etapa se realizaron ensayos de compresión simple a 5 unidades de cada muestra de material de vivienda tipo, para un total de 15 ensayos de compresión simple, además los morteros fueron caracterizados igualmente con 5 muestras de cada mortero tanto lo de pega como los de friso o recubrimiento, siendo una muestra representativa para conocer la falla inducida cuando son sometidos a

compresión. Para llevar a cabo esto se utilizó la maquina universal de ensayos del laboratorio Álvaro Beltrán Pinzón.

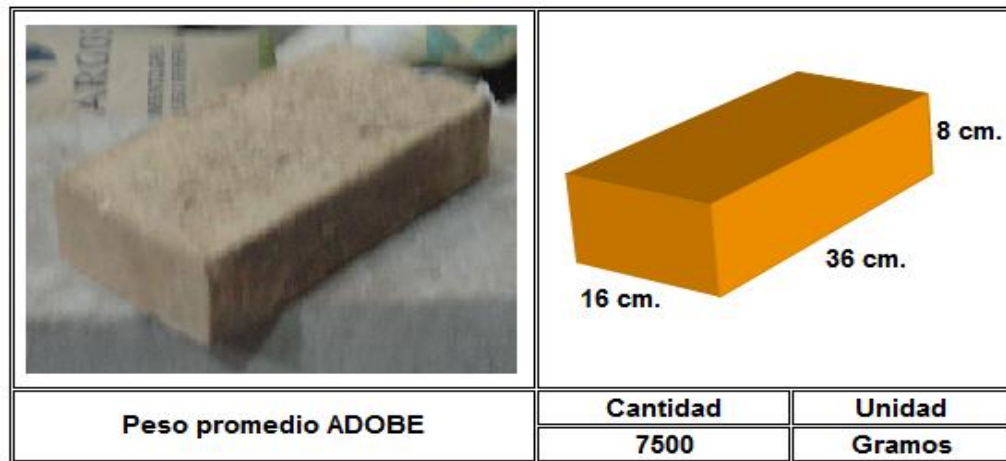
En el anexo B se encuentran las tablas de las gráficas de los ensayos de compresión.

2.2.1 Materiales de viviendas tipo I. Las viviendas tipo I se caracterizan por ser viviendas construidas en muros de adobe y cubiertas de madera y teja de barro, estas viviendas carecen de una estructura sismoresistente y básicamente sus muros de adobe trabajan como muros de carga, soportando la cubierta y el peso de la vivienda, en estas viviendas se encuentran materiales constructivos tales como adobe y argamasa, para efectos del estudio se realizaron los ensayos a las unidades de los materiales ya mencionados.

Las dimensiones escogidas para la fabricación de los adobes se basaron en las recomendaciones a nivel general, que reglamentan las longitudes máximas permisibles respecto a sus anchos, se escogieron para las unidades de adobes las siguientes dimensiones: 36 centímetros de largo, 16 centímetros de ancho y 8 centímetros de alto, que cumplan las recomendaciones mencionadas, además que son dimensiones estándares de moldes para la elaboración de ladrillos cocidos en la ciudad de Bucaramanga.

2.2.1.1 Ensayos de compresión simple a unidades de adobe. Ya definidas las dimensiones de las unidades de adobe se procedió a realizar los ensayos de compresión simple a las 5 muestras de unidades ladrillos de adobe obteniendo su resistencia máxima a la compresión para compararla con los valores mínimos permitidos para este tipo de material.

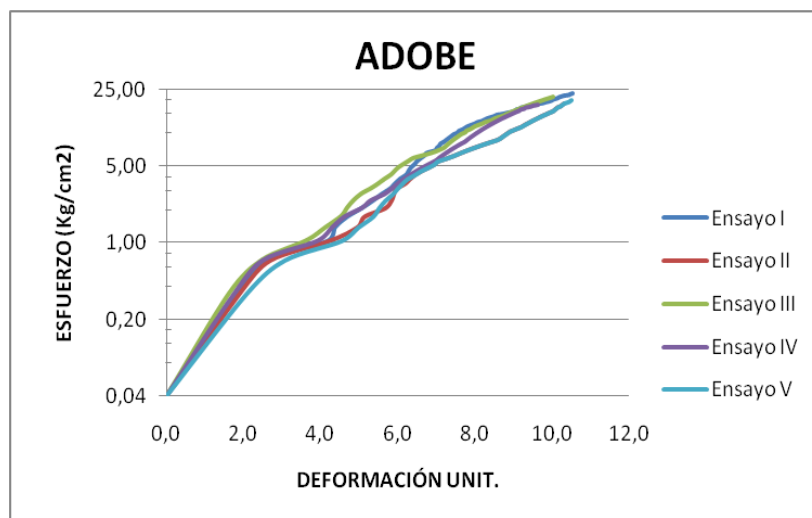
Figura 26. Unidades de adobe.



Fuente: Los autores.

La siguiente gráfica nos muestra los valores de esfuerzo vs deformación unitaria de los 5 ensayos a compresión simple realizados a unidades de adobe.

Figura 27. Gráfica de ensayos de compresión simple a unidades de adobe.



Fuente: Los autores.

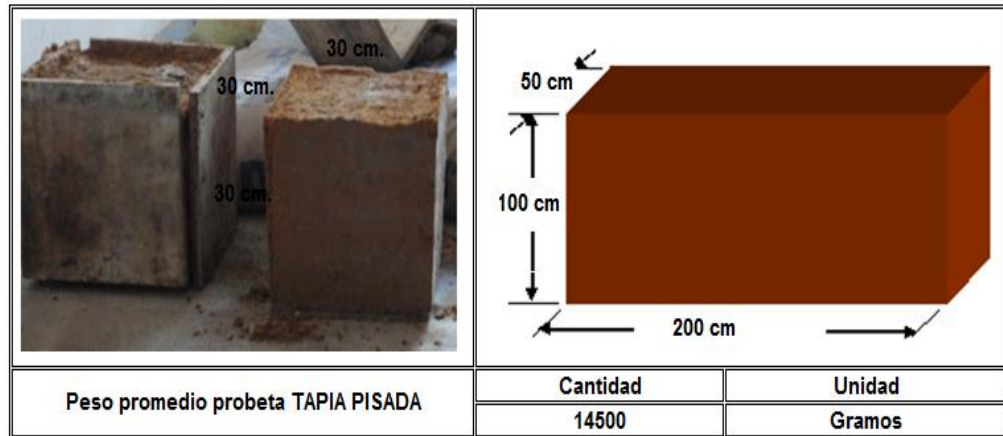
2.2.2 Materiales de viviendas tipo II. Las viviendas tipo II se caracterizan por ser viviendas construidas en muros de tapia pisada y cubiertas de madera y teja de barro, similarmente que la vivienda tipo I de adobe. Las viviendas tipo II son estructuras que carecen de un sistema estructural sismorresistente con muros de carga que soportan la cubierta y su propio peso, transmiten la carga a los cimientos de la vivienda. En estas viviendas se encuentran materiales constructivos tales como la tapia pisada, para efectos del estudio se realizaron los ensayos a las unidades de los materiales ya mencionados.

Las dimensiones escogidas para la fabricación de los bloques de tapia se basaron en las recomendaciones a nivel general, que reglamentan las longitudes máximas permisibles respecto a sus anchos.

Se escogieron para las unidades de tapia pisada las dimensiones de 200 centímetros de largo, 100 centímetros de alto y 50 centímetros de ancho, estas dimensiones se utilizarán para la construcción del muro de tapia pisada.

2.2.3.1 Ensayos de compresión simple a unidades de tapia pisada. Por comodidad del ensayo de compresión simple las unidades de tapia pisada se construyeron de dimensiones: de 30 centímetros de largo, 30 centímetros de alto y 30 centímetros de ancho.

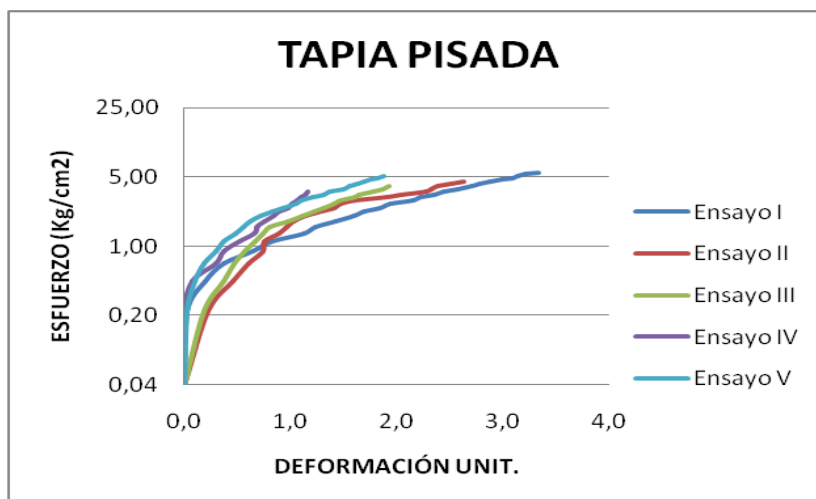
Figura 28. Bloques de tapia pisada.



Fuente: Los autores.

La siguiente gráfica nos muestra los valores de esfuerzo vs deformación unitaria de los 5 ensayos a compresión simple realizados a unidades de tapia pisada.

Figura 29. Gráfica de ensayos de compresión simple a unidades de tapia pisada.

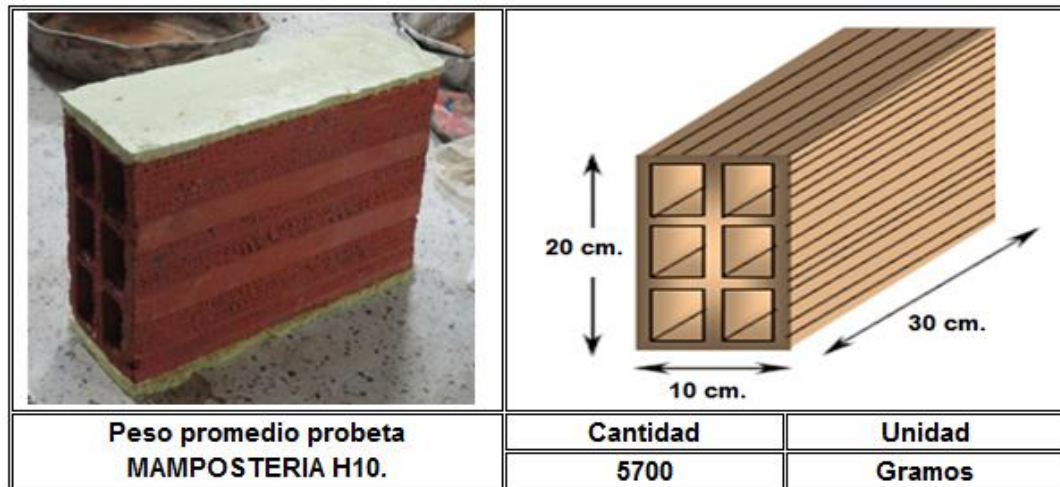


Fuente: Los autores.

2.2.3 Materiales de viviendas tipo III. Las viviendas tipo III se caracterizan por ser viviendas construidas en muros de mampostería, cubiertas de madera y teja de zinc o asbesto cemento, carecen de un sistema estructural sismorresistente, los muros en sus encuentros se traban lo cuales soportan la carga de la cubierta y su propio peso, transmiten la carga a los cimientos de la vivienda. En estas viviendas se encuentran materiales constructivos tales como los ladrillos cocidos y mortero de cemento. La selección de las unidades de mampostería se basó en el ladrillo más común y asequible en nuestro departamento el cual es el ladrillo H10.

2.2.3.1 Ensayos de compresión simple a unidades de mampostería H-10. Se procedió a realizar los ensayos de compresión simple a las 5 muestras de unidades ladrillos H10 obteniendo su resistencia máxima a la compresión para compararla con los valores mínimos permitidos.

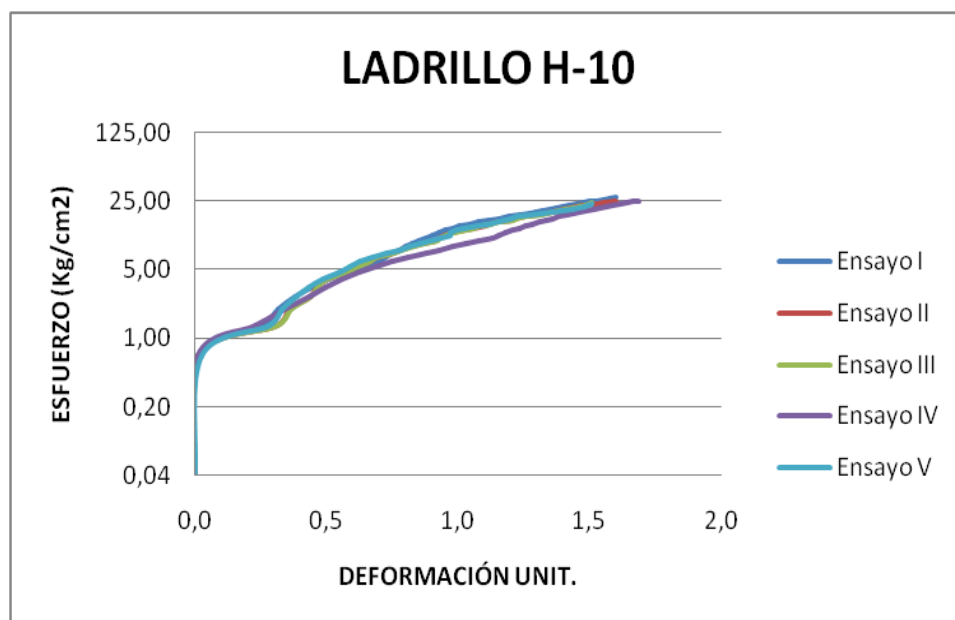
Figura 30. Unidades de mampostería H-10.



Fuente: Los autores.

La siguiente gráfica nos muestra los valores de esfuerzo vs deformación unitaria de los 5 ensayos a compresión simple realizados a unidades de mampostería H-10.

Figura 31. Gráfica de ensayos de compresión simple a unidades de mampostería H-10.



Fuente: Los autores.

2.2.4 Caracterización de morteros. A continuación se caracterizan los morteros implementados en las pegas y recubrimientos de los muros de cada vivienda tipo.

Figura 32. Tabla de ensayos de compresión de morteros.

VIVIENDA TIERRA CRUDA		DOSIFICACIÓN	EDAD (Dias)	CARGA MÁX (Kgf)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
ESPÉCIMEN	USO				(Kg/cm ²)	(Psi)
Ensayo 1	Mortero de pega	1:2 (arcilla:arena amarilla)	28	1500	59,8	854,4
Ensayo 2	Mortero de pega	1:2 (arcilla:arena amarilla)	28	1600	63,8	911,4
Ensayo 3	Mortero de pega	1:2 (arcilla:arena amarilla)	28	1800	71,8	1025,3
Ensayo 4	Mortero de pega	1:2 (arcilla:arena amarilla)	28	1500	59,8	854,4
Ensayo 5	Mortero de pega	1:2 (arcilla:arena amarilla)	28	1700	67,8	968,3
M-ARG	Mortero de pega	1:2 (arcilla:arena amarilla)	28	1620	64,6	922,8
Ensayo 6	Mortero de friso	1:2 (cal:arena de río)	28	2200	87,7	1253,1
Ensayo 7	Mortero de friso	1:2 (cal:arena de río)	28	2400	95,7	1367,1
Ensayo 8	Mortero de friso	1:2 (cal:arena de río)	28	2100	83,7	1196,2
Ensayo 9	Mortero de friso	1:2 (cal:arena de río)	28	2000	79,7	1139,2
Ensayo 10	Mortero de friso	1:2 (cal:arena de río)	28	2400	95,7	1367,1
M-CAL	Mortero de friso	1:2 (cal:arena de río)	28	2220	88,5	1264,5
VIVIENDA MAMPOSTERÍA		DOSIFICACIÓN	EDAD (Dias)	CARGA MÁX (Kgf)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
ESPÉCIMEN	USO				(Kg/cm ²)	(Psi)
Ensayo 11	Mortero de pega	1:3 (cemento:arena de río)	28	5800	231,3	3303,7
Ensayo 12	Mortero de pega	1:3 (cemento:arena de río)	28	5400	215,3	3075,9
Ensayo 13	Mortero de pega	1:3 (cemento:arena de río)	28	5300	211,3	3018,9
Ensayo 14	Mortero de pega	1:3 (cemento:arena de río)	28	5400	215,3	3075,9
Ensayo 15	Mortero de pega	1:3 (cemento:arena de río)	28	5500	219,3	3132,8
M-CEM1	Mortero de pega	1:3 (cemento:arena de río)	28	5480	218,5	3121,4
Ensayo 16	Mortero de friso	1:4 (cemento:arena de río)	28	3500	139,6	1993,6
Ensayo 17	Mortero de friso	1:4 (cemento:arena de río)	28	3800	151,5	2164,5
Ensayo 18	Mortero de friso	1:4 (cemento:arena de río)	28	3500	139,6	1993,6
Ensayo 19	Mortero de friso	1:4 (cemento:arena de río)	28	3400	135,6	1936,7
Ensayo 20	Mortero de friso	1:4 (cemento:arena de río)	28	3400	135,6	1936,7
M-CEM2	Mortero de friso	1:4 (cemento:arena de río)	28	3520	140,4	2005,0

Fuente: Los autores.

Figura 33. Fallas de compresión de morteros.



Fuente: Los autores.

2.3 ENSAYOS DE CARGA LATERAL CICLICA A MUROS TIPO.

Se construyeron 2 muros de cada vivienda tipo, los muros se soportaron sobre una viga prefabricada de concreto de cimentación, para un total de 6 muros de dimensiones, 2.0 metros de altura, 2.0 de largo y sus espesores varían según el aparejo de las unidades de cada muro tipo, con estos muros se caracterizaron 3 modelos para el ensayo de carga lateral cíclica para cada vivienda tipo.

El primer modelo es el muro no reforzado (**MNR**), el cual se construye y se ensaya ante carga lateral cíclica hasta que el modelo falle, el modelo fallado se repara y se refuerza con la técnica elegida para cada vivienda tipo con esto se obtiene el segundo modelo de muro que es el muro reparado y reforzado (**MRR**), este segundo modelo se ensaya ante carga lateral cíclica hasta la falla. El tercer modelo de muro es el muro reforzado (**MR**), este tercer modelo de muro se construye y posteriormente se refuerza con la técnica asignada a cada vivienda tipo para ensayarlo ante carga lateral cíclica hasta la falla.

El ensayo de carga lateral cíclica consiste en someter a los muros a una carga horizontal aplicada mediante un actuador hidráulico modelo 243 con capacidad de carga de hasta 35 toneladas, con el que se pretendió simular el actuar de una fuerza dinámica controlando el desplazamiento horizontal de los muros.

En estos ensayos se realizaron 11 fases de la siguiente manera:

Tabla 1. Protocolo De Carga

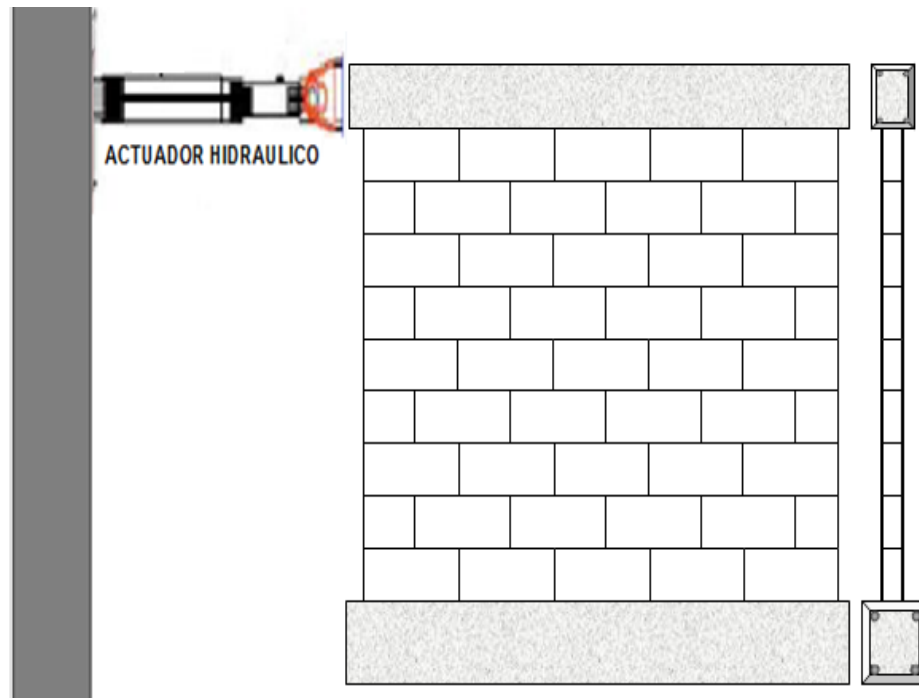
FASE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Do (mm)	0.25	0.5	1.0	2.5	5.0	7.5	10	12.5	15	17.5	20
CICLOS	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2

Fuente: Los autores.

Este método de aplicación de la carga se elaboró teniendo en cuenta las recomendaciones de los documentos, comportamiento a carga lateral cíclica de muros de adobe confinados [20], y el documento resistencia y deformación de muros de mampostería combinada y confinada sujetos a cargas [18].

Como estas viviendas en estudio son básicamente estructuras de muros de carga se pretendió simular la carga vertical inducida por la cubierta de las mismas con una viga prefabricada de concreto de 420 Kg de peso, distribuidos en la parte superior de cada muro para un total de 210 kilogramos de carga por metro lineal de muro.

Figura 34. Detalle de montaje de ensayo de carga lateral a muros tipo.



Fuente: Los autores.

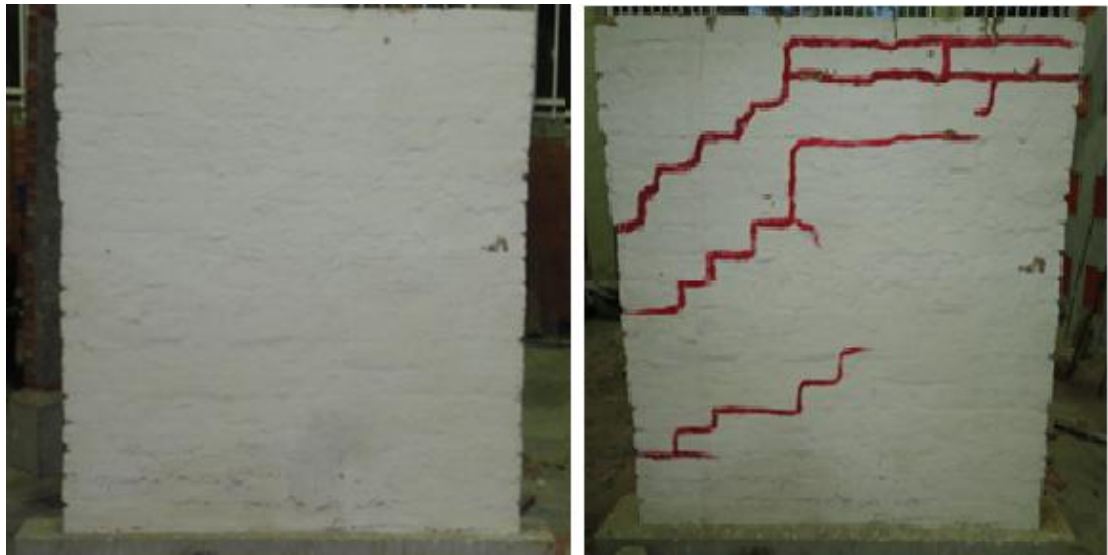
2.3.1 Ensayos de carga lateral cíclica a muros de vivienda tipo I. Se procede a realizar el ensayo de carga lateral cíclica a 2 muros de adobe pertenecientes a las viviendas tipo I, con dimensiones 2 metros de altura, 2 metros de longitud y 0.16 metros de ancho, se tienen 3 modelos de muro de adobe; muro no reforzado I (**MNR1**), muro reparado y reforzado I (**MRR1**), y muro reforzado I (**MR1**), para un total de 3 ensayos de carga lateral cíclica.

2.3.1.1 Muros de adobe sin refuerzo (MNR1).

Se construyó un muro de dimensiones mencionadas anteriormente, con 100 ladrillos de adobe, los cuales se partieron a la mitad 10. En la construcción se adoptaron 5 ladrillos en la primera hilada con una pega de argamasa de 2 centímetros aproximadamente, seguida de una segunda hilada en donde los

extremos se colocan los ladrillos partidos a la mitad para truncar el muro. Para la tercera hilada se repitió el proceso de la primera hilada y para la cuarta hilada la de la segunda hilada y así sucesivamente hasta alcanzar la altura de 2 metros.

Figura 35. Muro de adobe sin refuerzo (MNR1).



Fuente: Los autores.

2.3.1.2 Muro de adobe reparado y reforzado (MRR1). Se debe aclarar que este modelo de muro es el muro anterior fallado ante carga lateral para su posterior reparación y reforzamiento, esto servirá para comparar resistencias entre muro sin refuerzo, muros reparados, reforzados y muros con el refuerzo propuesto.

Las grietas producidas por la aplicación del ensayo se deben rellenar con mortero de cal y arena de dosificación 1:2, la técnica de refuerzo que se implemento es refuerzo con bandas de malla para friso simulando vigas y columnas y recubrimiento de mortero de cal y arena, la malla sin vena también conocida como malla para friso tiene las siguientes características, 2mm de diámetro y rombos de

5mm de abertura, la malla comercialmente se encuentra en ferreterías y almacenes distribuidores de materiales de construcción en anchos de 60 centímetros y longitud de hasta 48 metros, la malla se ancla al muro y al cimiento con puntillas de 2 ½" y tapas de gaseosa, estos se ubican 3 anclajes equidistantes en el ancho del refuerzo y cada hilada por medio en sentido longitudinal del refuerzo (ver figura 61), los traslajos de la malla se debe considerar ubicarlos en 1/3 de la longitud de la malla esto debido a la falla de flexión y volteo, las bandas horizontales del refuerzo fueron colocadas tanto en la parte superior como en la inferior del muro para simular vigas corona y anclaje al cimiento, los anclajes preferiblemente deben ubicarse en los adobes y no en las brechas puesto que es más seguro anclarlos a los ladrillos para evitar que se desprendan los clavos.

Figura 36. Muro de adobe reparado y reforzado (MRR1).



Fuente: Los autores.

2.3.1.3 Muro de adobe reforzado (MR1). Este muro se construyó similarmente que el muro no reforzado de adobe, con las mismas dimensiones, cantidad de

ladrillos de adobe y troncado de igual manera. Hasta alcanzar la altura de 2.0 metros. Posteriormente se procede a reforzar con la técnica mencionada para este tipo de vivienda de adobe y se refuerza de la misma manera que el modelo anterior solo con la diferencia que este modelo previamente no se fallo, en resumen se construye el muro y se refuerza, esto con la finalidad de analizar la diferencia de reforzar un muro fallado previamente reparado y un muro en buen estado.

Figura 37. Muro de adobe reforzado (MR1).



Fuente: Los autores.

2.3.2 Ensayos de carga lateral cíclica a muros de vivienda tipo II. Se procedió a realizar el ensayo de carga lateral cíclica a 2 muros de tapia pisada pertenecientes a las viviendas tipo II, con dimensiones 2.0 metros de altura, 2.0 metros de longitud y 0.50 metros de ancho a los 3 modelos de muro de tapia pisada; muro no reforzado II (**MNR2**), muro reparado y reforzado II (**MRR2**), y muro reforzado II (**MR2**), para un total de 3 ensayos de carga lateral cíclica.

2.3.2.1 Muro de tapia pisada no reforzado (MNR2). Se construyó un muro de dimensiones mencionadas anteriormente, con 2 bloques de tapia pisada, los cuales uno sobre el otro forman el muro de tapia pisada. En la construcción se implementó un encofrado de madera con todos los elementos que lo conforman, paraleles, cuñas, tableros y yugos, el encofrado le da las dimensiones a los bloques de tapia, en el proceso constructivo se implementó las recomendaciones de varios documentos de construcción de tapia pisada, tales como Manual de construcción para viviendas antisísmicas en tierra [12] y Tapia pisada [11] , se procedió a formar capas de tierra apisonada de máximo 15 centímetros con un numero de golpes de 30 golpes con un pisón de madera de base plana de 8 kilogramos de peso.

Figura 38. Muro de tapia pisada sin refuerzo (MNR2).



Fuente: Los autores.

2.3.2.2 Muro de tapia pisada reparado y reforzado (MRR2). Se debe aclarar que este modelo de muro es el muro anterior fallado por cortante para su posterior reparación y reforzamiento, esto servirá para comparar resistencias entre muro sin refuerzo fallado, muros reparados, reforzados y muros con el refuerzo propuesto, Los daños producidos por el ensayo de carga lateral fueron reparados mediante la inyección de mortero de cal en las fisuras producidas en la aplicación de cargas. El refuerzo utilizado en este muro de vivienda tipo II fue la técnica de elementos confinantes de manera y tornillos pasantes, posteriormente de haber reparado el muro de tapia pisada se procedió a elaborar las regatas para la instalación de los elementos de madera, las regatas se realizan tanto en sentido horizontal como en vertical, estas regatas son equidistantes entre sí en ambos sentidos formando una especie de cuadrícula de confinamiento, luego se perforaron en el centro de los cruces de las regatas por medio de un taladro agujeros para la instalación de los tornillos pasantes.

Los elementos de madera implementados para el refuerzo del muro de tapia presentan las siguientes dimensiones, 2.0 metros de longitud, 0.15 metros de ancho y un espesor de 0.10 metros. Ver figura 70.

Figura 39. Muro de tapia pisada reparado y reforzado (MRR2).



Fuente: Los autores.

2.3.2.3 Muro de tapia pisada reforzado (MR2). Este muro se construyó similarmente que el muro no reforzado de tapia pisada, con las mismas dimensiones, cantidad de bloques de tapia pisada. Hasta alcanzar la altura de 1.80 metros. Posteriormente se procede a reforzar con la técnica mencionada para este tipo de vivienda de tapia pisada y se refuerza de la misma manera que el modelo anterior solo con la diferencia que este modelo previamente no se falló, en resumen se construye el muro y se refuerza, esto con la finalidad de analizar la diferencia de reforzar un muro fallado previamente reparado y un muro en buen estado.

Figura 40. Muro de tapia reforzado (MR2).



Fuente: Los autores.

2.3.3 Ensayos de carga lateral cíclica a muros de vivienda tipo III. Se procedió a ensayar con carga lateral cíclica a 2 Muros de ladrillos H-10 pertenecientes a las viviendas tipo III, con dimensiones 2 metros de altura, 2

metros de longitud y 0.10 metros de ancho, sobre los 3 modelos de muro de mampostería no estructural, muro no reforzado III (**MNR**), muro reparado y reforzado III (**MRR3**), y muro reforzado III (**MR3**), para un total de 3 ensayos de carga lateral cíclica.

2.3.3.1 Muros de mampostería sin refuerzo (MNR3). Se construyó dos muros de dimensiones mencionadas, con 54 ladrillos H-10, los cuales se partieron a la mitad 4. En la construcción se adoptaron 6 ladrillos en la primera hilada con un mortero de pega de dosificación 1:3 de 2 centímetros aproximadamente, seguida de una segunda hilada en donde los extremos se colocan los ladrillos partidos a la mitad para trincar el muro. Para la tercera hilada se repitió el proceso de la primera hilada y para la cuarta hilada la de la segunda hilada y así sucesivamente hasta alcanzar la altura de 2 metros.

Figura 41. Muro de mampostería sin refuerzo (MNR3).



Fuente: Los autores.

2.3.3.2 Muro de mampostería reparado y reforzado (MRR3). Se debe aclarar que este modelo de muro es el muro anterior fallado por cortante para su posterior reparación y reforzamiento, esto servirá para comparar resistencias entre muro sin refuerzo fallado, muros reparados, reforzados y muros con el refuerzo propuesto.

Las grietas producidas por la aplicación del ensayo de carga lateral se repararan mediante costura de grietas, esta método de reparación consiste en ubicar varillas de acero en ángulo de 90 grados con la grieta, primeramente se hacen las regatas en el muro donde posteriormente se inyectó mortero 1:3 y se introducen el acero de la costura de la grieta, estas varillas deben sobresalir de las grietas mínimo 20 centímetros a lado y lado para lograr una buena adherencia y mejorar o igualar la resistencia al cortante.

Luego de reparar el muro de mampostería no estructural, la técnica de refuerzo que se implemento es refuerzo con malla electrosoldada y mortero 1:4, la malla electrosoldada se instala encamisando el muro, la malla presento las siguientes características, 3mm de diámetro y 10 mm de abertura, la malla comercialmente se encuentra en ferreterías en rollos de 2.40 metros de ancho y 6.0 metros de longitud, la malla se ancla al muro con alambre número 8, y al cimiento perforándolo y empotrando la malla, estos se ubican cada 50 centímetros tanto horizontal como en sentido vertical, los traslapos de la malla se debe considerar ubicarlos en 1/3 de la longitud de la malla esto debido a la falla de flexión y volteo, los anclajes preferiblemente deben ubicarse en las brechas de mortero de pega y no en los ladrillos puesto que es más seguro anclarlos a la brecha porque los ladrillos son huecos, el mortero de recubrimiento o friso tiene una dosificación de 1:4.

Figura 42. Muro de mampostería reparado y reforzado (MRR3).



Fuente: Los autores.

2.3.3.3 Muro de mampostería reforzado (MR3). Este muro se construyó similarmente que el muro no reforzado de mampostería, con las mismas dimensiones, cantidad de ladrillo H-10 y troncado de igual manera. Hasta alcanzar la altura de 2 metros.

Posteriormente se procede a reforzar con la técnica mencionada anteriormente para este tipo de vivienda de mampostería y se refuerza de la misma manera que el modelo anterior solo con la diferencia que este modelo previamente no se falló, en resumen se construye el muro y se refuerza, esto con la finalidad de analizar la diferencia de reforzar un muro fallado previamente reparado y un muro en buen estado.

Figura 43. Muro de mampostería reforzado (MR3).



Fuente: Los autores.

3. ANALISIS Y RESULTADOS.

3.1 MATERIA PRIMA.

Se analizaron 2 tipos diferentes de suelos tanto para la elaboración de los adobes como para la tapia, estos suelos con características físicas que aparentemente cumplían con las especificaciones recomendadas en capítulos anteriores, al realizar estos análisis con granulometrías se pudo detallar los valores reales de los porcentajes de arenas y arcillas que contiene cada muestra.

3.1.1 Selección de material de suelo para unidades de adobes.

A partir de esto se pudo concluir que el suelo más apto para la elaboración de las unidades de adobe es la muestra de suelo II, ya que esta muestra cumple con las recomendaciones dadas en capítulos anteriores.

Tabla 2. Resultados De La Muestra De Suelo I Para Elaboración De Unidades De Adobes

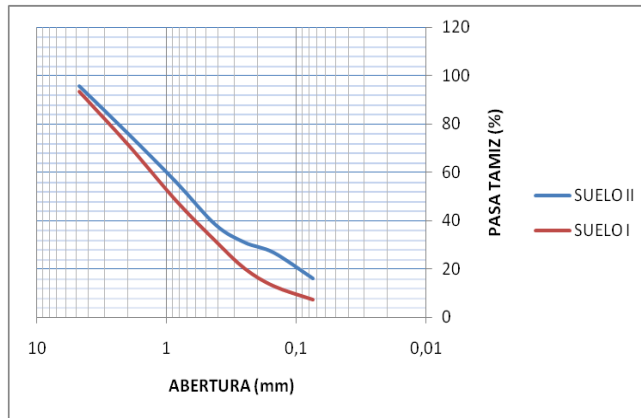
55% >	ARENAS	79.37(%)	> 80%
10% >	LIMOS	10.68(%)	> 28%
15% >	ARCILLAS	16.25(%)	> 18%

Fuente: Los autores

Los resultados de la muestra de suelo I para la elaboración de unidades de adobes no fue apta, pues mostro rangos inaceptables para su selección.

En la siguiente gráfica se pueden observar las curvas granulométricas de los suelos analizados, y aunque su tendencia es parecida los porcentajes de arenas y arcillas nos muestran una considerable diferencia.

Figura 44. Curvas granulométrías de suelos de adobe.



Fuente: Los autores.

3.1.2 Selección de material de suelo para bloques de tapia. Se pudo concluir que el suelo más apto para la elaboración de los bloques de tapia pisada es la muestra de suelo II, ya que esta muestra cumple con las recomendaciones dadas en capítulos anteriores, aunque las arenas no cumple por un 1,12% hay que tener en cuenta que la muestra es solo una pequeña parte representativa, y estos porcentajes pueden variar en todo el lote de material de suelo.

Tabla 3. Resultados de la muestra de suelo I para la elaboración de bloques de tapia pisada

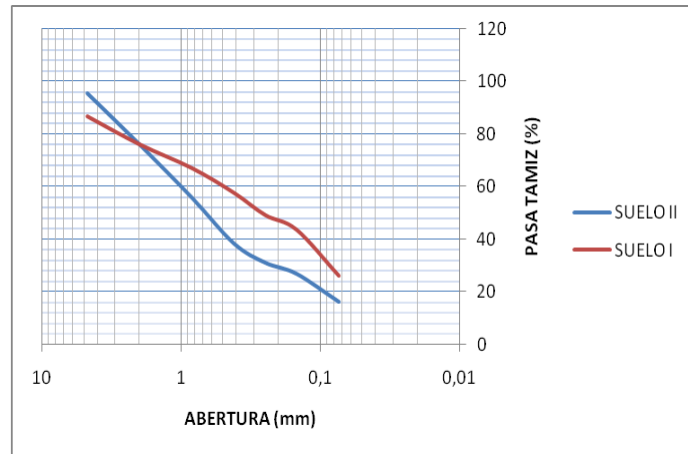
0% >	GRAVAS 14.43(%)	> 15%
40% >	ARENAS 61.12(%)	> 60%
3.5% >	LIMOS 15.68(%)	> 20%
15% >	ARCILLAS 24.45(%)	> 25%

Fuente: Los autores.

Los resultados de la muestra de suelo I para la elaboración de bloques de tapia pisada no fueron aptos, pues mostró rangos inaceptables para su selección.

En la siguiente gráfica se pueden observar las curvas granulométricas de los suelos analizados, su tendencia es de porcentajes considerablemente diferentes.

Figura 45. Curvas granulométricas de suelos para tapial.



Fuente: Los autores.

3.2 ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE.

3.2.1 Ensayos de compresión simple a unidades de adobe. Los ensayos de compresión a las unidades de adobe fabricados con el material de suelo escogido (suelo II), se realizaron con el fin de conocer la resistencia promedio a la compresión del material principal de los muros de la vivienda tipo I, y así compararla con la resistencia requerida para este tipo de material.

El esfuerzo promedio de las unidades de adobe respecto a los 5 ensayos fue de 20.21 Kg/cm^2 , lo que indica un valor alto respecto al valor mínimo aceptado especificado en capítulos anteriores, igual a 12 Kg/cm^2 . En la gráfica de los 5

ensayos a compresión simple de unidades de adobe, se puede evidenciar que los resultados son confiables ya que su tendencia es similar, ver figura 45.

3.2.2 Ensayos de compresión simple a unidades de tapia pisada. Los ensayos realizados a las unidades de bloques de tapia pisada fabricados con el material de suelo seleccionado (suelo II), se realizaron con el fin de conocer la resistencia a la compresión del material principal de los muros de la vivienda tipo II, y así compararla con la resistencia requerida para este tipo de material.

El esfuerzo promedio de las unidades de bloques de tapia pisada respecto a los 5 ensayos fue de 4.53 Kg/cm^2 , estos resultados son admisibles comparados con el valor mínimo requerido especificado en capítulos anteriores, igual a 3.0 Kg/cm^2 , ver figura 50.

3.2.3 Ensayos de compresión simple a unidades de mampostería H-10. Los ensayos a compresión de las unidades de ladrillos H-10, se realizaron con el fin de conocer la resistencia promedio de los ladrillos seleccionados para la construcción de los muros de mampostería no confinada no reforzada, además se compara con el valor de las especificaciones de este tipo de ladrillos.

El esfuerzo promedio de los ladrillos respecto a los 5 ensayos fue de 25.06 Kg/cm^2 , lo que indica un valor similar al especificado por el fabricante que es de 16.50 Kg/cm^2 , ver la figura 53.

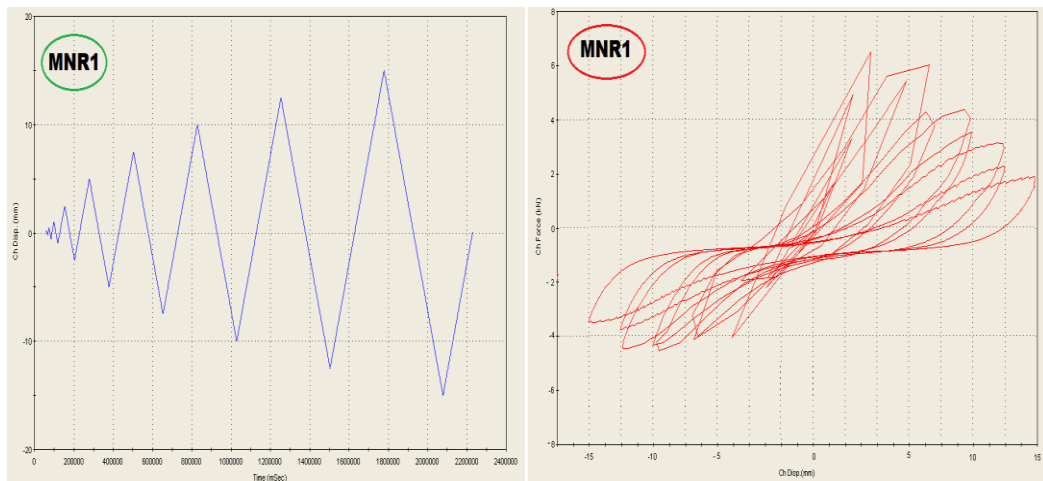
3.3 MUROS TIPO SOMETIDOS A CARGA LATERAL CICLICA.

3.3.1 Muro de adobe no reforzado (MNR1). El ensayo de carga cíclica en el muro fue físicamente notorio con las primeras grietas en la fase 5, con agrietamientos horizontales por las 2 juntas superiores del muro, en la fase 6 se

presentó agrietamiento diagonal escalonado por las juntas en sentido ascendente desde el exterior hacia el interior del muro, desde la tercera hilada hasta la sexta hilada, y desde la novena hilada hasta la doceava hilada, con el transcurso del tiempo del ensayo las grietas se hicieron más notorias, posteriormente en la fase 8 apareció otra fisura diagonal escalonada ascendente desde la doceava hilada hasta la quinceava hilada, en el primer ciclo de la fase 9 de la aplicación de la carga, se llega al desplazamiento controlado de 15 mm y se observó que las grietas horizontales se pronunciaron y se encontraron con la fractura diagonal superior lo que provocó una falla en el tercio superior del muro, en ese momento la fuerza aplicada fue de 6.25 Kn aproximadamente.

En este muro se presentaron fisuras tanto por cortante como por flexión, pero la fisura que provocó la falla y predominó en el ensayo fue de tipo cortante.

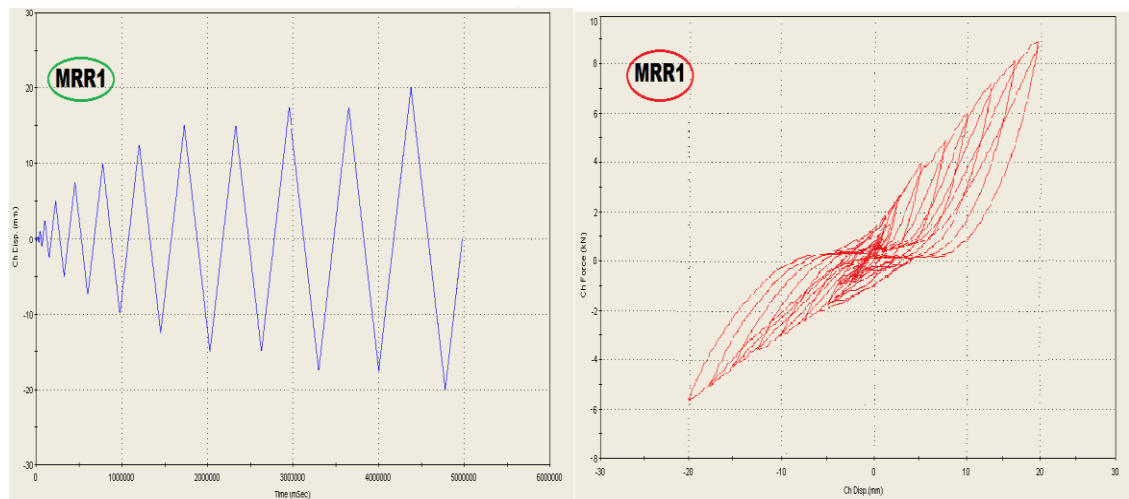
Figura 46. Gráfica de desplazamiento vs tiempo y fuerza vs desplazamiento (MNR1).



Fuente: Actuador hidráulico 243.

3.3.2 Muro de adobe reparado y reforzado (MRR1). Las primeras grietas producidas por la aplicación de la carga se evidenciaron en la fase 7, con grietas leves en las esquinas superiores del muro, en la fase 8 apareció una grieta diagonal semi-escalonada descendente en el centro del tercio superior del muro hacia el exterior del mismo, posteriormente en la fase 9 del protocolo, aparecieron grietas diagonales desde los exteriores del muro hacia el centro del mismo, con el transcurso del ensayo aparecieron grietas cortas no muy significativas en algunos puntos de los lados del muro y las grietas mencionadas anteriormente extendieron su trayectoria, en el primer ciclo de la fase 11 del protocolo de carga las fisuras diagonales se prolongaron hasta unirse y crear una falla a lo ancho del tercio central del muro. En las gráficas, se tiene que la carga máxima aplicada que se registro fue 5.5 Kn, se tiene un desplazamiento máximo de 20 mm, la reparación de grietas y el encamisado de malla y friso incremento la resistencia al corte y a la flexión del muro, la falla que se presentó fue de tipo cortante.

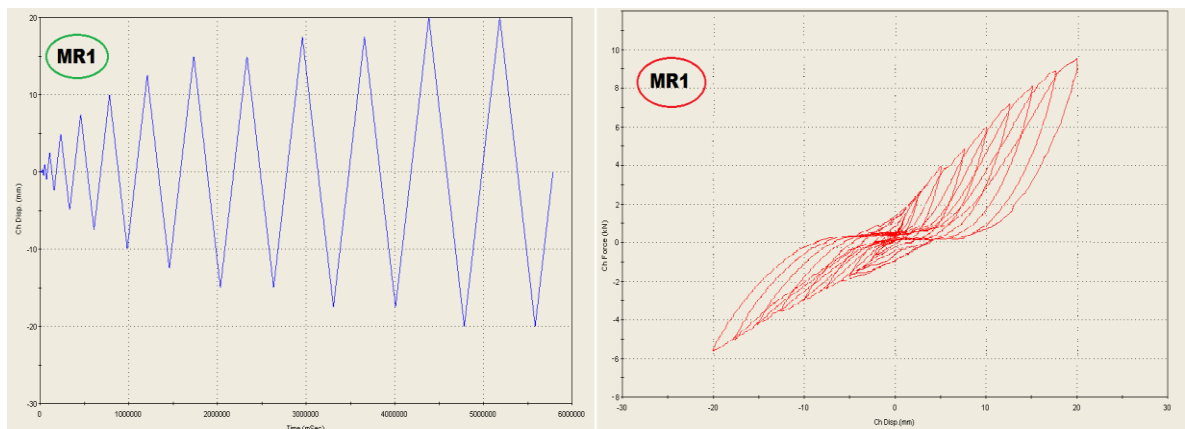
Figura 47. Gráfica de desplazamiento vs tiempo y fuerza v desplazamiento (MRR1).



Fuente: Actuador hidráulico 243.

3.3.3 Muro de adobe reforzado (MR1). El ensayo de carga cíclica en el muro reforzado fue físicamente notorio con las primeras grietas en la fase 8, con agrietamientos notorios en las esquinas inferiores, con el transcurso del tiempo del ensayo las grietas se hicieron más notorias y aparecieron otras fisuras en las esquinas superiores del muro, posteriormente las fisuras tienden a prolongarse hacia el interior del muro, se realizó exitosamente todo el protocolo de carga llegando al desplazamiento máximo de 20 mm sin afectar significativamente la estabilidad del muro, con el fin de determinar el desplazamiento máximo que soportaría este muro, se procedió a aumentar las fases del protocolo de carga llegando a una fase con desplazamiento controlado de 40 mm aplicando una fuerza máxima de 7 Kn.

Figura 48. Gráfica de desplazamiento vs tiempo y fuerza vs desplazamiento (MR1).

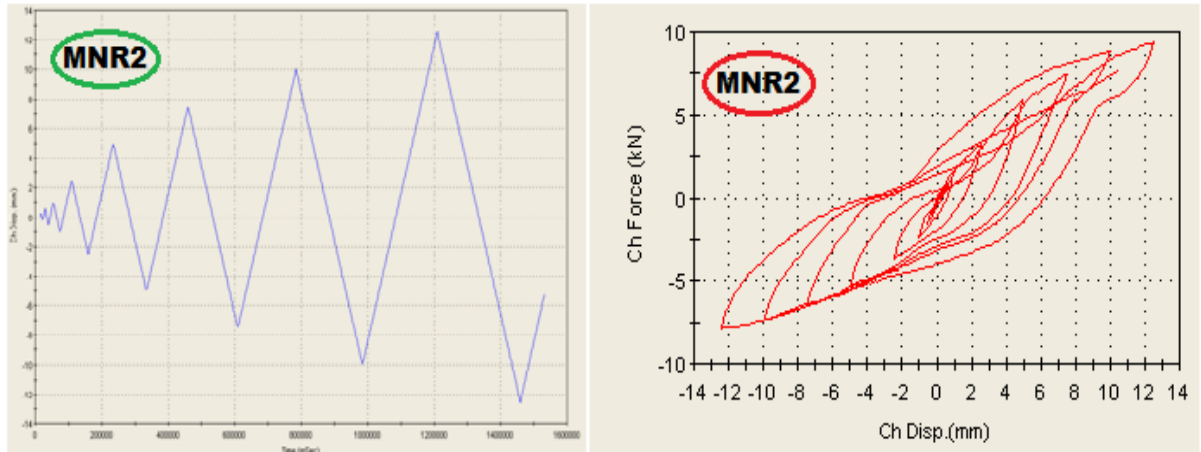


Fuente: Actuador hidráulico 243.

3.3.4 Muro de tapia pisada sin refuerzo (MNR2). El ensayo de carga cíclica en el muro fue físicamente notorio en la fase 5, con agrietamientos horizontales por la junta que une a las secciones de la tapia, con el transcurso del tiempo del ensayo

las grietas se hicieron más notorias aumentando su longitud desde los exteriores de la junta hacia el interior de la misma, posteriormente en la fase 7 de la aplicación de la carga, se llega al desplazamiento controlado de 10 mm y se observó grietas diagonales desde la junta con trayectoria ascendente hacia el extremo superior de la tapia, como descendente hacia el cimiento de la tapia pisada, en la fase 8 de la aplicación del protocolo de carga las grietas tanto horizontales como verticales se encuentran en el centro de la junta de la tapia trazando una falla por desplazamiento de la junta por corte fricción, en ese momento la fuerza aplicada registrada fue de 9 Kn aproximadamente, y el desplazamiento controlado de 12.5 mm.

Figura 49. Gráfica de desplazamiento vs tiempo y fuerza vs desplazamiento (MNR2).

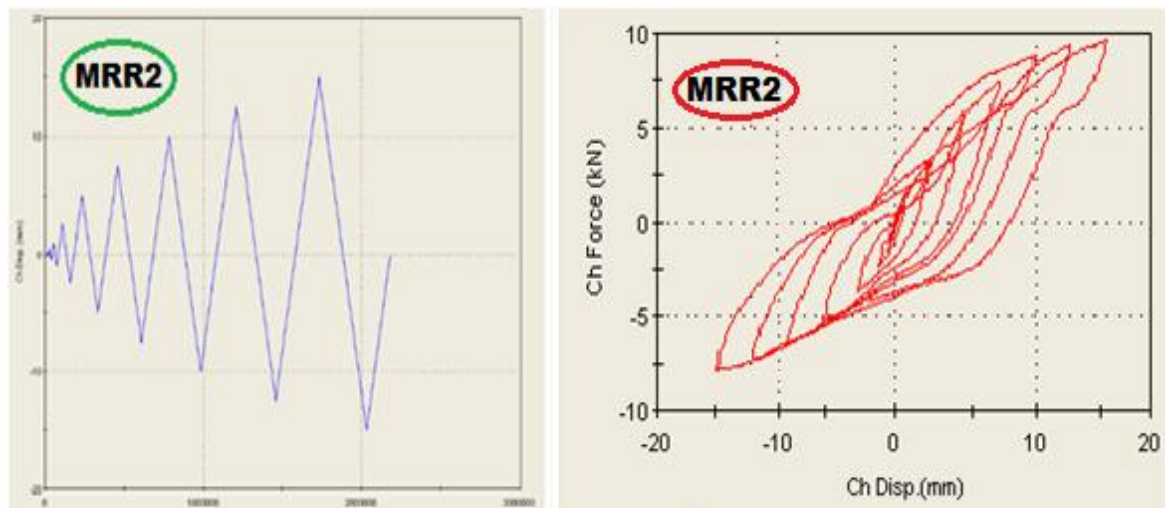


Fuente: Actuador hidráulico 243.

3.3.5 Muro de tapia pisada reparado y reforzado (MRR2). El ensayo de carga cíclica en el muro fue físicamente notorio en la fase 6, con agrietamientos horizontales por la junta que une a las secciones de la tapia, con el transcurso del

tiempo del ensayo las grietas se hicieron más notorias aumentando su longitud desde los exteriores de la junta hacia el interior de la misma, posteriormente en la fase 7 de la aplicación de la carga, se llega al desplazamiento controlado de 10 mm y se observó la aparición de grietas en las esquinas superiores de la tapia con una trayectoria descendente a 60 grados las cuales provocan un desprendimiento de las esquinas superiores del muro, en la fase 9 de la aplicación del protocolo de carga las grietas horizontales se encuentran en el centro de la junta de la tapia trazando una falla por desplazamiento de la junta, en ese momento la fuerza aplicada registrada fue de 9.5 Kn aproximadamente, y el desplazamiento controlado de 15 mm.

Figura 50. Gráfica de desplazamiento vs tiempo y fuerza vs desplazamiento (MRR2).

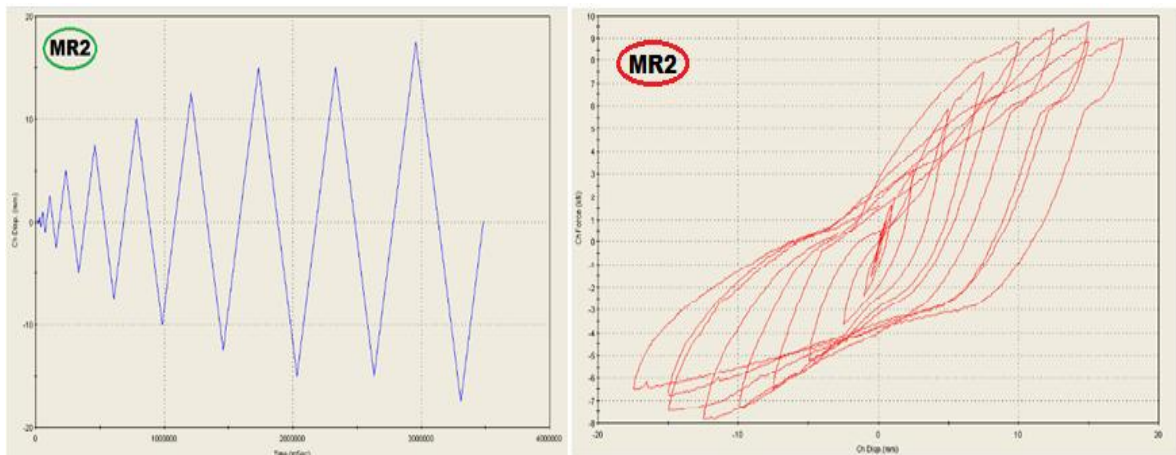


Fuente: Actuador hidráulico 243.

3.3.6 Muro de tapia pisada reforzado (MR2). El ensayo de carga cíclica en el muro fue físicamente notorio en la fase 6, con agrietamientos horizontales por la

junta que une a las secciones de la tapia, con el transcurso del tiempo del ensayo las grietas se hicieron más notorias aumentando su longitud desde los exteriores de la junta hacia el interior de la misma, posteriormente en la fase 8 de la aplicación de la carga, se llega al desplazamiento controlado de 12.5 mm y se observó la aparición de una grieta desde la junta del muro hacia su cimiento, en el ciclo 1 de la fase 10 de la aplicación del protocolo de carga las grietas horizontales se encuentran en el centro de la junta de la tapia trazando una falla por desplazamiento de la junta, en ese momento la fuerza aplicada registrada fue de 10 Kn aproximadamente, y el desplazamiento controlado de 17.5 mm.

Figura 51. Gráfica de desplazamiento vs tiempo y fuerza vs desplazamiento (MR2).

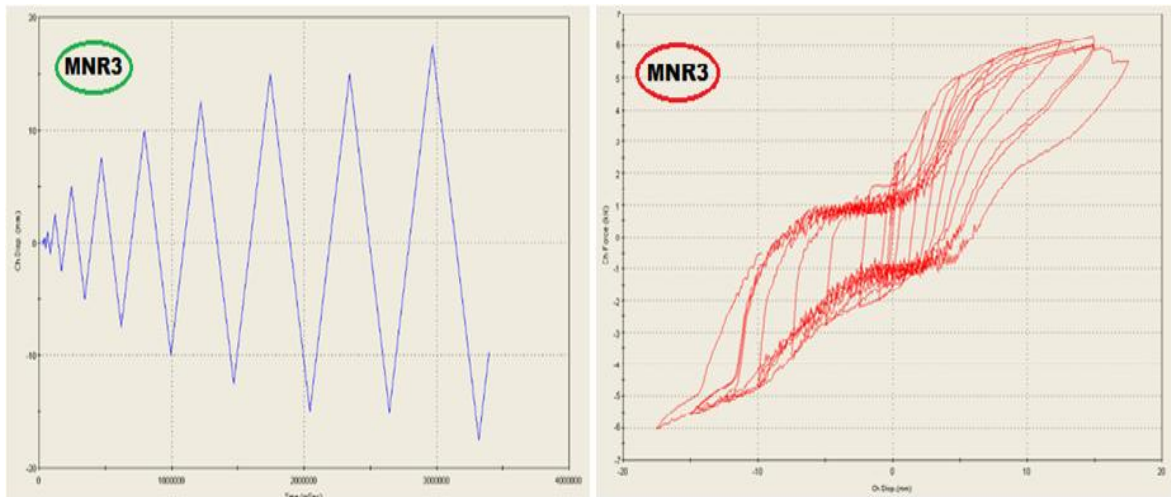


Fuente: Actuador hidráulico 243.

3.3.7 Muro de mampostería no reforzado (MNR3). El ensayo de carga cíclica en el muro fue físicamente notorio con las primera grieta horizontal en la fase 7, por la junta de la segunda hilada inferior, la cual se incrementó con el transcurso del tiempo del ensayo, en la fase 8 apareció otra grieta horizontal en la segunda

junta horizontal superior, las grietas se hicieron más notorias, y la fisura horizontal superior cambio su tendencia de falla con una fractura escalonada diagonal hacia el centro del muro, posteriormente en el primer ciclo de la fase 10 de la aplicación de la carga, se llega al desplazamiento controlado de 17.5mm y se observó que una de las grietas desvió su trayectoria de falla formando una grieta de lado a lado en la parte inferior del muro, en ese momento la fuerza aplicada fue de 6.25 Kn aproximadamente.

Figura 52. Gráfica de desplazamiento vs tiempo y fuerza vs desplazamiento (MNR3).

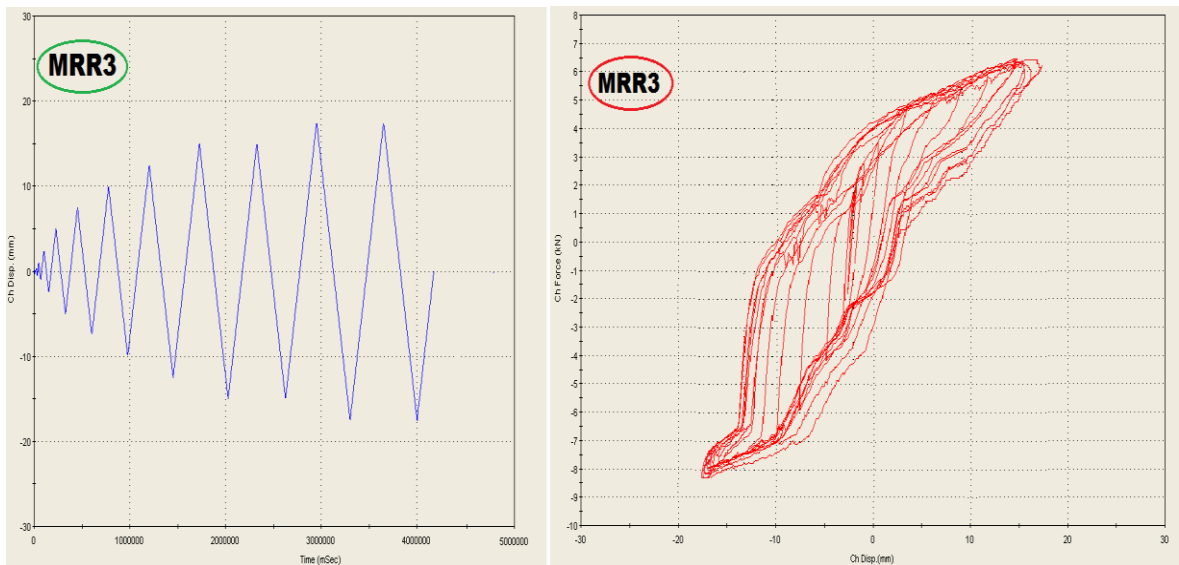


Fuente: Actuador hidráulico 243.

3.3.8 Muro de mampostería reparado y reforzado (MRR3). El ensayo de carga cíclica en el muro reforzado fue físicamente notorio con las primeras grietas en la fase 8, las cuales se generaron en los extremos de la junta que une el muro a su cimiento, con el transcurso del tiempo del ensayo las grietas se extienden horizontalmente por la base del muro, posteriormente en el primer ciclo de la fase 10 de la aplicación de la carga, se llega al desplazamiento controlado de 17.5mm y se observó que una de las grietas se encuentran en el centro del muro formando

una falla por desprendimiento de base, en ese momento la fuerza aplicada fue de 5.25 Kn aproximadamente.

Figura 53. Gráfica de desplazamiento vs tiempo y fuerza vs desplazamiento (MRR3).

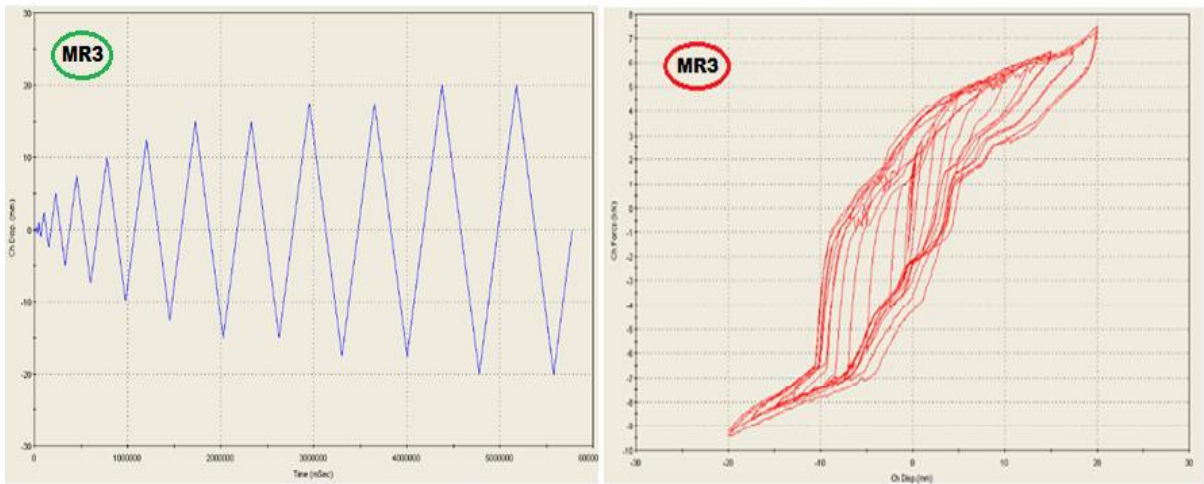


Fuente: Actuador hidráulico 243.

3.3.9 Muro de mampostería reforzado (MR3). El ensayo de carga cíclica en el muro reforzado fue físicamente notorio con las primeras grietas en la fase 10 primer ciclo, con agrietamientos notorios en las esquinas superiores del muro, con el transcurso del tiempo del ensayo las grietas no se prolongaron considerablemente, se realizó exitosamente todo el protocolo de carga llegando al desplazamiento máximo de 20 mm sin afectar significativamente la estabilidad del muro, con el fin de determinar el desplazamiento máximo que soportaría este muro, se procedió a aumentar las fases del protocolo de carga llegando a una fase “13” con desplazamiento controlado de 50 mm aplicando una fuerza máxima de

9.5 Kn aproximadamente. La falla registrada se presentó un desprendimiento de base del muro ensayado.

Figura 54. Gráfica de desplazamiento vs tiempo y fuerza vs desplazamiento (MR3).



Fuente: Actuador hidráulico 243.

Las tablas comparativas específicas de los resultados se encuentran en los anexos C.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Los materiales utilizados en los sistemas de reparación y reforzamiento de cada tipo de vivienda propuestos, son fáciles de obtener y con un costo bajo y la facilidad de transportarlos para su implementación, en comparación con soluciones más complejas o inclusive similares.
- Es importante resaltar la proporción de los morteros utilizados tanto para pega como para recubrimiento, ya que si se varían, provocará un aumento y/o reducción de costo y resistencia, al igual con los demás materiales de refuerzo. Los métodos de reparación son sumamente sencillos de aplicar, por lo que no necesita de personal altamente calificado para implementarlo, solamente de una pequeña guía o manual para guiar al propietario de la vivienda.
- Las tres diferentes técnicas de refuerzo implementadas en esta investigación funcionan para darle rigidez y ductilidad a los muros de las tres viviendas tipo, y evitar que colapsen rápidamente, ya que estos módulos o modelos de muros reforzados (MR) y (MRR) incrementaron su resistencia ante la carga aplicada con respecto a los modelos de muros originales no reforzados (MNR).
- El modelo MR1 permitió un desplazamiento controlado de 40 mm, comparado con el modelo original MNR1 el cual permitió un desplazamiento controlado de 15 mm, obtuvo un incremento de resistencia de 160% aproximadamente con respecto al muro original, mientras el modelo MRR1 permitió un desplazamiento controlado de 20 mm con lo cual aumentó su resistencia a la falla en un 30% aproximadamente con respecto al muro original MNR1. Esto nos indica que la técnica de reparación y reforzamiento descrita para

este tipo de material cumple con el objetivo de aumentar la resistencia al colapso de los muros de adobe.

- El modelo MR2 permitió un desplazamiento controlado de 17.5 mm, comparado con el modelo original MNR2 el cual permitió un desplazamiento controlado de 12.5 mm, obtuvo un incremento de resistencia del 40% aproximadamente con respecto al muro original, mientras el modelo MRR2 permitió un desplazamiento controlado de 15 mm aunque la falla que presentó fue por pérdida de apoyo, con lo cual aumentó su resistencia a la falla en un 20% aproximadamente con respecto al muro original MNR2. . Esto nos indica que la técnica de reparación y reforzamiento descrita para este tipo de material cumple con el objetivo de aumentar la resistencia al colapso de los muros de tapia pisada.
- El modelo MR3 permitió un desplazamiento controlado de 50 mm, comparado con el modelo original MNR3 el cual permitió un desplazamiento controlado de 17.5 mm, obtuvo un incremento de resistencia del 180% aproximadamente con respecto al muro original, mientras el modelo MRR3 permitió un desplazamiento controlado de 17.5 mm la falla se presentó en el segundo ciclo de la fase lo cual es un ciclo más que el muro original, con lo cual recuperó su resistencia inicial con respecto al muro original MNR3. . Esto nos indica que la técnica de reparación y reforzamiento descrita para este tipo de material cumple con el objetivo de aumentar la resistencia al colapso de los muros de mampostería no reforzada.
- Las medidas de rehabilitación propuestas se pueden utilizar con eficacia para disminuir la vulnerabilidad de las viviendas de adobe y tapia pero no es posible afirmar que no sigan siendo consideradas estructuras altamente vulnerables. A esto se asocia una disminución en el riesgo de pérdida de vidas, reduciendo igualmente la probabilidad de derrumbamiento catastrófico, Sin

embargo, las alternativas estudiadas no permiten aún garantizar la no ocurrencia de muertes.

- En los métodos de reparación las grietas principales fueron resanadas sin embargo es importante tener cuidado con la profundización de las grietas con la pulidora para su resane ya que no se debe afectar la estabilidad del muro, y se recomienda tratar de resanar todas las grietas incluyendo las de aberturas muy pequeñas las cuales se mencionaron como agrietamientos menores.

BIBLIOGRAFIA.

- [1] Asociación colombiana de ingeniería sísmica, Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada, Fondo para la construcción y desarrollo social del eje cafetero, Santa fe de Bogotá, 2005.
- [2] Asociación colombiana de ingeniería sísmica, Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismorresistente de viviendas de mampostería, La red de estudios sociales en prevención de desastres en América latina, 2002.
- [3] Alcaldía mayor de Bogotá, Anexo 3. Catálogo de patologías en otros materiales, Fondo de atención y prevención de emergencias, Santa fe de Bogotá. D.C.
- [4] Alcaldía mayor de Bogotá, Anexo 2. Catálogo de patologías en muros no estructurales de mampostería, Fondo de atención y prevención de emergencias, Santa fe de Bogotá. D.C. 2007.
- [5] Centro de estudios sobre desarrollo económico, Construcción formal e informal en los últimos 20 años en las ciudades de Bucaramanga y Cartagena, Universidad de los Andes, 2006.
- [6] Cortes Wilmar, Desarrollo de una metodología para la evaluación sismoresistente de edificaciones antiguas de tapia pisada y adobe, Universidad Industrial de Santander, 2002.

- [7] Daniel Torrealva Ávila, Título 1. Caracterización de daños en construcciones de adobe, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [8] Flórez Camilo y López Olber, Propuesta de reforzamiento de muros de adobe modificado con confinamiento de madera rolliza, Universidad Industrial de Santander, 2010
- [9] Guillermo Eduardo Chinchilla Maldonado, Alternativa de refuerzo contra efectos de sismo para viviendas de adobe existentes, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006.
- [10] Gutiérrez, Manco, Loaiza y Blondet, Características sísmicas de las Construcciones de tierra en el Perú, Capítulo de ingeniería civil del concejo departamental del colegio de ingenieros del Perú, 2003.
- [11] Gernot Minke, Manual de construcción para viviendas antisísmicas en tierra, Forschungslabor für experimentelles bauen, Universidad de kassell, Alemania.
- [12] López Pérez Cecilia, Rastros y rostros de las construcciones en tierra cruda.
- [13] Norma técnica de edificación NTE E 080 ADOBE, Código Peruano, 1999.
- [14] Otazzi, Yep, Blondet, Ginocchio y García, Ensayos de simulación sísmica de viviendas de adobe, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [15] Ramírez de Alba y Carreón Guardado, Reparación y refuerzo por medio de flejes de muros de mampostería para viviendas de bajo costo, Intr. Desastres naturales, accidentes e infraestructura civil, vol. 3(2). Toluca, México, 1993.

- [16] Ramírez Arelys, Tapia pisada.
- [17] San Bartolomé, Quiun y Zegarra, Manual técnico para el reforzamiento de las viviendas de adobe existentes en la costa y en la sierra, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2001.
- [18] San Bartolomé, Título 1. Construcción con Tapial, Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda (ININVI), Lima, Perú, 1983.
- [19] San Bartolomé Ángel y Pehovaz Richard, Comportamiento a carga lateral cíclica de muros de adobe confinados, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [20] Tena Arturo, Juárez Artemio, y Salinas Víctor Hugo, Resistencia y deformación de muros de mampostería combinada y confinada sujetos a cargas laterales, Revista de ingeniería sísmica No 76 29-60, 2007.
- [21] Yamin, Rodríguez y Fonseca, Comportamiento sísmico y alternativas de rehabilitaciones de casas de adobe y tapia pisada con base a modelos a escala reducida ensayados en mesa vibratoria, Universidad de los Andes, Santa fe de Bogotá D.C. 2003.
- [22] Yamin, Phillips y Reyes, Estudios de Vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas de adobe y tapia pisada, Universidad de los Andes, Santa fe de Bogotá D.C. 2002.
- [23] Zegarra Ciquero, Quiun Wong y San Bartolomé, Técnicas para el reforzamiento sísmico de viviendas de adobe, Pontificia Universidad Católica del Perú,

ANEXOS

ANEXO A. DATOS DE GRANULOMETRÍA.

Aquí se puede encontrar los datos obtenidos en la granulometría de 2 suelos estudiados para la elaboración de las unidades de adobes, adicionalmente se encuentran los datos en la granulometría de 2 suelos estudiados para la elaboración de los bloques de tapia pisada.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA ADOBE SUELO I

Peso inicial de la muestra: 1032,5 gramos.

Nombre	Suelo 1		Peso (gr)	1032,5	
TAMIZ (#)	ABERTURA (mm)	SUELO RETENIDO (gr)	SUELO RETENIDO (%)	RETENIDO ACUM (%)	PASA TAMIZ (%)
No 4	4,75	68,66	6,65	6,65	93,35
10	2	224,77	21,77	28,42	71,58
20	0,84	241,81	23,42	51,84	48,16
40	0,42	169,74	16,44	68,28	31,72
60	0,25	116,77	11,31	79,59	20,41
100	0,149	74,96	7,26	86,85	13,15
200	0,074	58,026	5,62	92,47	7,53
Pasa 200		77,764	7,53	100	0
Suma			100		

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA ADOBE SUELO II

Peso inicial de la muestra: 1078,4 gramos.

Nombre	Suelo 2		Peso (gr)	1078,4	
TAMIZ (#)	ABERTURA (mm)	SUELO RETENIDO (gr)	SUELO RETENIDO (%)	RETENIDO ACUM (%)	PASA TAMIZ (%)
No 4	4,75	47,23	4,38	4,38	95,62
10	2	210,29	19,5	23,88	76,12
20	0,84	218,59	20,27	44,15	55,85
40	0,42	187,64	17,4	61,55	38,45
60	0,25	78,83	7,31	68,86	31,14
100	0,149	45,4	4,21	73,07	26,93
200	0,074	115,17	10,68	83,75	16,25
Pasa 200		175,25	16,25	100	0
Suma			100		

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE GRANULOMETRÍA
TAPIA PISADA SUELO I

Peso inicial de la muestra: 1125,6 gramos.

Nombre	Suelo 1		Peso (gr)	1125,6	
TAMIZ (#)	ABERTURA (mm)	SUELO RETENIDO (gr)	SUELO RETENIDO (%)	RETENIDO ACUM (%)	PASA TAMIZ (%)
No 4	4,75	151,17	13,43	13,43	86,57
10	2	119,88	10,65	24,08	75,92
20	0,84	101,19	8,99	33,07	66,93
40	0,42	105,47	9,37	42,44	57,56
60	0,25	95	8,44	50,88	49,12
100	0,149	62,47	5,55	56,43	43,57
200	0,074	196,75	17,48	73,91	26,09
Pasa 200		293,67	26,09	100	0
Suma			100		

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

TAPIA PISADA SUELO II

Peso inicial de la muestra: 1018,7 gramos.

Nombre	Suelo 2		Peso (gr)	1018,7	
TAMIZ (#)	ABERTURA (mm)	SUELO RETENIDO (gr)	SUELO RETENIDO (%)	RETENIDO ACUM (%)	PASA TAMIZ (%)
No 4	4,75	147	14,43	14,43	85,57
10	2	107,57	10,56	24,99	75,01
20	0,84	101,67	9,98	34,97	65,03
40	0,42	76,61	7,52	42,49	57,51
60	0,25	32,29	3,17	45,66	54,34
100	0,149	144,76	14,21	59,87	40,13
200	0,074	159,73	15,68	75,55	24,45
Pasa 200		249,07	24,45	100	0
Suma			100		

ANEXO B. DATOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE.

En este anexo se puede encontrar los datos obtenidos en los ensayos de compresión simple con los cuales las diferentes gráficas de esfuerzo vs deformación unitaria de las unidades de materiales de las viviendas tipo en estudio.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE A UNIDADES DE ADOBE

ENSAYO No 1		ADOBE	Lectura = 0.001"	
CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)	DEFORMACION (Lectura)	DEFORMACION (mm)	DEFORMACION UNITARIA
0	0,00	0	0,0	0,0
200	0,35	58	1,5	1,8
400	0,69	83	2,1	2,6
600	1,04	132	3,4	4,2
800	1,39	138	3,5	4,4
1000	1,74	148	3,8	4,7
1200	2,08	160	4,1	5,1
1400	2,43	169	4,3	5,4
1600	2,78	176	4,5	5,6
1800	3,13	183	4,6	5,8
2000	3,47	187	4,7	5,9
2200	3,82	191	4,9	6,1
2400	4,17	196	5,0	6,2
2600	4,51	198	5,0	6,3
2800	4,86	200	5,1	6,4

3000	5,21	203	5,2	6,4
3200	5,56	205	5,2	6,5
3400	5,90	208	5,3	6,6
3600	6,25	211	5,4	6,7
3800	6,60	213	5,4	6,8
4000	6,94	220	5,6	7,0
4200	7,29	221	5,6	7,0
4400	7,64	223	5,7	7,1
4600	7,99	224	5,7	7,1
4800	8,33	227	5,8	7,2
5000	8,68	229	5,8	7,3
5200	9,03	231	5,9	7,3
5400	9,38	233	5,9	7,4
5600	9,72	235	6,0	7,5
5800	10,07	238	6,0	7,6
6000	10,42	239	6,1	7,6
6200	10,76	242	6,1	7,7
6400	11,11	244	6,2	7,7
6600	11,46	246	6,2	7,8
6800	11,81	249	6,3	7,9
7000	12,15	252	6,4	8,0
7200	12,50	254	6,5	8,1
7400	12,85	258	6,6	8,2
7600	13,19	260	6,6	8,3
7800	13,54	262	6,7	8,3
8000	13,89	265	6,7	8,4
8200	14,24	268	6,8	8,5
8400	14,58	270	6,9	8,6
8600	14,93	275	7,0	8,7

8800	15,28	279	7,1	8,9
9000	15,63	283	7,2	9,0
9200	15,97	285	7,2	9,0
9400	16,32	286	7,3	9,1
9600	16,67	289	7,3	9,2
9800	17,01	290	7,4	9,2
10000	17,36	294	7,5	9,3
10200	17,71	296	7,5	9,4
10400	18,06	300	7,6	9,5
10600	18,40	304	7,7	9,7
10800	18,75	308	7,8	9,8
11000	19,10	310	7,9	9,8
11200	19,44	313	8,0	9,9
11400	19,79	315	8,0	10,0
11600	20,14	316	8,0	10,0
11800	20,49	318	8,1	10,1
12000	20,83	320	8,1	10,2
12200	21,18	321	8,2	10,2
12400	21,53	323	8,2	10,3
12600	21,88	325	8,3	10,3
12800	22,22	329	8,4	10,4
13000	22,57	330	8,4	10,5
13200	22,92	332	8,4	10,5

ENSAYO No 2		ADOBE	Lectura = 0.001"	
CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)	DEFORMACION (Lectura)	DEFORMACION (mm)	DEFORMACION UNITARIA
0	0,00	0	0,0	0,0

200	0,35	60	1,5	1,9
400	0,69	85	2,2	2,7
600	1,04	133	3,4	4,2
800	1,39	156	4,0	5,0
1000	1,74	162	4,1	5,1
1200	2,08	179	4,5	5,7
1400	2,43	184	4,7	5,8
1600	2,78	186	4,7	5,9
1800	3,13	188	4,8	6,0
2000	3,47	195	5,0	6,2
2200	3,82	199	5,1	6,3
2400	4,17	203	5,2	6,4
2600	4,51	208	5,3	6,6
2800	4,86	214	5,4	6,8
3000	5,21	219	5,6	7,0
3200	5,56	222	5,6	7,0
3400	5,90	229	5,8	7,3
3600	6,25	235	6,0	7,5
3800	6,60	240	6,1	7,6
4000	6,94	245	6,2	7,8
4200	7,29	250	6,4	7,9
4400	7,64	255	6,5	8,1
4600	7,99	260	6,6	8,3
4800	8,33	265	6,7	8,4
5000	8,68	270	6,9	8,6
5200	9,03	273	6,9	8,7
5400	9,38	275	7,0	8,7
5600	9,72	277	7,0	8,8
5800	10,07	279	7,1	8,9

6000	10,42	281	7,1	8,9
6200	10,76	284	7,2	9,0
6400	11,11	287	7,3	9,1
6600	11,46	290	7,4	9,2
6800	11,81	292	7,4	9,3
7000	12,15	294	7,5	9,3
7200	12,50	296	7,5	9,4
7400	12,85	298	7,6	9,5
7600	13,19	300	7,6	9,5
7800	13,54	302	7,7	9,6
8000	13,89	304	7,7	9,7
8200	14,24	306	7,8	9,7
8400	14,58	308	7,8	9,8
8600	14,93	310	7,9	9,8
8800	15,28	312	7,9	9,9
9000	15,63	314	8,0	10,0
9200	15,97	316	8,0	10,0
9400	16,32	317	8,1	10,1
9600	16,67	318	8,1	10,1
9800	17,01	319	8,1	10,1
10000	17,36	320	8,1	10,2
10200	17,71	322	8,2	10,2
10400	18,06	323	8,2	10,3
10600	18,40	324	8,2	10,3
10800	18,75	325	8,3	10,3

ENSAYO No 3		ADOBE	Lectura = 0.001"	
CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)	DEFORMACION (Lectura)	DEFORMACION (mm)	DEFORMACION UNITARIA
0	0,00	0	0,0	0,0
200	0,35	50	1,3	1,6
400	0,69	76	1,9	2,5
600	1,04	111	2,8	3,6
800	1,39	127	3,2	4,1
1000	1,74	139	3,5	4,5
1200	2,08	144	3,7	4,7
1400	2,43	149	3,8	4,9
1600	2,78	155	3,9	5,0
1800	3,13	163	4,1	5,3
2000	3,47	169	4,3	5,5
2200	3,82	174	4,4	5,7
2400	4,17	179	4,5	5,8
2600	4,51	182	4,6	5,9
2800	4,86	185	4,7	6,0
3000	5,21	189	4,8	6,2
3200	5,56	193	4,9	6,3
3400	5,90	197	5,0	6,4
3600	6,25	205	5,2	6,7
3800	6,60	212	5,4	6,9
4000	6,94	217	5,5	7,1
4200	7,29	221	5,6	7,2
4400	7,64	223	5,7	7,3
4600	7,99	225	5,7	7,3
4800	8,33	227	5,8	7,4
5000	8,68	229	5,8	7,5

5200	9,03	231	5,9	7,5
5400	9,38	233	5,9	7,6
5600	9,72	235	6,0	7,7
5800	10,07	238	6,0	7,8
6000	10,42	239	6,1	7,8
6200	10,76	242	6,1	7,9
6400	11,11	244	6,2	7,9
6600	11,46	246	6,2	8,0
6800	11,81	249	6,3	8,1
7000	12,15	252	6,4	8,2
7200	12,50	254	6,5	8,3
7400	12,85	258	6,6	8,4
7600	13,19	260	6,6	8,5
7800	13,54	262	6,7	8,5
8000	13,89	265	6,7	8,6
8200	14,24	268	6,8	8,7
8400	14,58	270	6,9	8,8
8600	14,93	272	6,9	8,9
8800	15,28	274	7,0	8,9
9000	15,63	276	7,0	9,0
9200	15,97	278	7,1	9,1
9400	16,32	280	7,1	9,1
9600	16,67	282	7,2	9,2
9800	17,01	284	7,2	9,2
10000	17,36	286	7,3	9,3
10200	17,71	288	7,3	9,4
10400	18,06	290	7,4	9,4
10600	18,40	292	7,4	9,5
10800	18,75	294	7,5	9,6

11000	19,10	296	7,5	9,6
11200	19,44	298	7,6	9,7
11400	19,79	300	7,6	9,8
11600	20,14	302	7,7	9,8
11800	20,49	304	7,7	9,9
12000	20,83	306	7,8	10,0
12200	21,18	308	7,8	10,0

ENSAYO No 4		ADOBE	Lectura = 0.001"	
CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)	DEFORMACION (Lectura)	DEFORMACION (mm)	DEFORMACION UNITARIA
0	0,00	0	0,0	0,0
200	0,35	55	1,4	1,8
400	0,69	78	2,0	2,5
600	1,04	122	3,1	3,9
800	1,39	134	3,4	4,3
1000	1,74	144	3,7	4,6
1200	2,08	158	4,0	5,1
1400	2,43	165	4,2	5,3
1600	2,78	176	4,5	5,7
1800	3,13	182	4,6	5,9
2000	3,47	187	4,7	6,0
2200	3,82	192	4,9	6,2
2400	4,17	197	5,0	6,3
2600	4,51	202	5,1	6,5
2800	4,86	207	5,3	6,7
3000	5,21	212	5,4	6,8

3200	5,56	217	5,5	7,0
3400	5,90	220	5,6	7,1
3600	6,25	223	5,7	7,2
3800	6,60	226	5,7	7,3
4000	6,94	229	5,8	7,4
4200	7,29	232	5,9	7,5
4400	7,64	235	6,0	7,6
4600	7,99	238	6,0	7,7
4800	8,33	241	6,1	7,7
5000	8,68	243	6,2	7,8
5200	9,03	245	6,2	7,9
5400	9,38	247	6,3	7,9
5600	9,72	249	6,3	8,0
5800	10,07	251	6,4	8,1
6000	10,42	253	6,4	8,1
6200	10,76	255	6,5	8,2
6400	11,11	257	6,5	8,3
6600	11,46	259	6,6	8,3
6800	11,81	261	6,6	8,4
7000	12,15	263	6,7	8,5
7200	12,50	265	6,7	8,5
7400	12,85	267	6,8	8,6
7600	13,19	269	6,8	8,6
7800	13,54	271	6,9	8,7
8000	13,89	273	6,9	8,8
8200	14,24	275	7,0	8,8
8400	14,58	277	7,0	8,9
8600	14,93	279	7,1	9,0
8800	15,28	281	7,1	9,0

9000	15,63	283	7,2	9,1
9200	15,97	285	7,2	9,2
9400	16,32	286	7,3	9,2
9600	16,67	289	7,3	9,3
9800	17,01	290	7,4	9,3
10000	17,36	294	7,5	9,5
10200	17,71	296	7,5	9,5
10400	18,06	300	7,6	9,6

ENSAYO No 5		ADOBE	Lectura = 0.001"	
CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm²)	DEFORMACION (Lectura)	DEFORMACION (mm)	DEFORMACION UNITARIA
0	0,00	0	0,0	0,0
200	0,35	66	1,7	2,1
400	0,69	97	2,5	3,1
600	1,04	143	3,6	4,5
800	1,39	157	4,0	5,0
1000	1,74	169	4,3	5,4
1200	2,08	174	4,4	5,5
1400	2,43	179	4,5	5,7
1600	2,78	185	4,7	5,9
1800	3,13	189	4,8	6,0
2000	3,47	193	4,9	6,1
2200	3,82	197	5,0	6,3
2400	4,17	203	5,2	6,4
2600	4,51	208	5,3	6,6
2800	4,86	214	5,4	6,8
3000	5,21	219	5,6	7,0

3200	5,56	222	5,6	7,0
3400	5,90	229	5,8	7,3
3600	6,25	235	6,0	7,5
3800	6,60	240	6,1	7,6
4000	6,94	245	6,2	7,8
4200	7,29	250	6,4	7,9
4400	7,64	255	6,5	8,1
4600	7,99	260	6,6	8,3
4800	8,33	265	6,7	8,4
5000	8,68	270	6,9	8,6
5200	9,03	273	6,9	8,7
5400	9,38	275	7,0	8,7
5600	9,72	277	7,0	8,8
5800	10,07	279	7,1	8,9
6000	10,42	281	7,1	8,9
6200	10,76	284	7,2	9,0
6400	11,11	287	7,3	9,1
6600	11,46	290	7,4	9,2
6800	11,81	292	7,4	9,3
7000	12,15	294	7,5	9,3
7200	12,50	296	7,5	9,4
7400	12,85	298	7,6	9,5
7600	13,19	300	7,6	9,5
7800	13,54	302	7,7	9,6
8000	13,89	304	7,7	9,7
8200	14,24	306	7,8	9,7
8400	14,58	308	7,8	9,8
8600	14,93	310	7,9	9,8
8800	15,28	312	7,9	9,9

9000	15,63	314	8,0	10,0
9200	15,97	316	8,0	10,0
9400	16,32	317	8,1	10,1
9600	16,67	318	8,1	10,1
9800	17,01	319	8,1	10,1
10000	17,36	320	8,1	10,2
10200	17,71	322	8,2	10,2
10400	18,06	323	8,2	10,3
10600	18,40	324	8,2	10,3
10800	18,75	325	8,3	10,3
11000	19,10	327	8,3	10,4
11200	19,44	329	8,4	10,4
11400	19,79	330	8,4	10,5
11600	20,14	331	8,4	10,5

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE A UNIDADES DE TAPIA PISADA

ENSAYO No 1		TAPIA PISADA	Lectura = 0.001"	
CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)	DEFORMACION (Lectura)	DEFORMACION (mm)	DEFORMACION UNITARIA
0	0,00	0	0,0	0,0
200	0,22	4	0,1	0,0
400	0,44	24	0,6	0,2
600	0,67	45	1,1	0,4
800	0,89	76	1,9	0,6
1000	1,11	98	2,5	0,8
1200	1,33	133	3,4	1,1

1400	1,56	146	3,7	1,2
1600	1,78	169	4,3	1,4
1800	2,00	189	4,8	1,6
2000	2,22	200	5,1	1,7
2200	2,44	218	5,5	1,8
2400	2,67	230	5,8	1,9
2600	2,89	255	6,5	2,2
2800	3,11	264	6,7	2,2
3000	3,33	278	7,1	2,4
3200	3,56	289	7,3	2,4
3400	3,78	304	7,7	2,6
3600	4,00	320	8,1	2,7
3800	4,22	329	8,4	2,8
4000	4,44	340	8,6	2,9
4200	4,67	354	9,0	3,0
4400	4,89	365	9,3	3,1
4600	5,11	372	9,4	3,1
4800	5,33	380	9,7	3,2
5000	5,56	395	10,0	3,3

ENSAYO No 2		TAPIA PISADA	Lectura = 0.001"	
CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)	DEFORMACION (Lectura)	DEFORMACION (mm)	DEFORMACION UNITARIA
0	0	0	0,0	0,0
200	0,22	27	0,7	0,2
400	0,44	55	1,4	0,5
600	0,67	72	1,8	0,6

800	0,89	88	2,2	0,7
1000	1,11	90	2,3	0,8
1200	1,33	105	2,7	0,9
1400	1,56	115	2,9	1,0
1600	1,78	122	3,1	1,0
1800	2,00	135	3,4	1,1
2000	2,22	152	3,9	1,3
2200	2,44	167	4,2	1,4
2400	2,67	175	4,4	1,5
2600	2,89	190	4,8	1,6
2800	3,11	225	5,7	1,9
3000	3,33	242	6,1	2,0
3200	3,56	269	6,8	2,3
3400	3,78	275	7,0	2,3
3600	4,00	282	7,2	2,4
3800	4,22	297	7,5	2,5
4000	4,44	312	7,9	2,6

ENSAYO No 3		TAPIA PISADA	Lectura = 0.001"	
CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)	DEFORMACION (Lectura)	DEFORMACION (mm)	DEFORMACION UNITARIA
0	0	0	0,0	0,0
200	0,22	22	0,6	0,2
400	0,44	44	1,1	0,4
600	0,67	56	1,4	0,5
800	0,89	67	1,7	0,6
1000	1,11	78	2,0	0,7

1200	1,33	87	2,2	0,7
1400	1,56	95	2,4	0,8
1600	1,78	115	2,9	1,0
1800	2,00	131	3,3	1,1
2000	2,22	143	3,6	1,2
2200	2,44	154	3,9	1,3
2400	2,67	165	4,2	1,4
2600	2,89	172	4,4	1,5
2800	3,11	188	4,8	1,6
3000	3,33	193	4,9	1,7
3200	3,56	208	5,3	1,8
3400	3,78	219	5,6	1,9
3600	4,00	226	5,7	1,9

ENSAYO No 4		TAPIA PISADA	Lectura = 0.001"	
CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)	DEFORMACION (Lectura)	DEFORMACION (mm)	DEFORMACION UNITARIA
0	0	0	0,0	0,0
200	0,22	1	0,0	0,0
400	0,44	10	0,3	0,1
600	0,67	35	0,9	0,3
800	0,89	44	1,1	0,4
1000	1,11	61	1,5	0,5
1200	1,33	78	2,0	0,7
1400	1,56	81	2,1	0,7
1600	1,78	90	2,3	0,8
1800	2,00	99	2,5	0,8
2000	2,22	106	2,7	0,9

2200	2,44	115	2,9	1,0
2400	2,67	120	3,0	1,0
2600	2,89	125	3,2	1,1
2800	3,11	130	3,3	1,1
3000	3,33	135	3,4	1,1
3200	3,56	137	3,5	1,2

ENSAYO No 5		TAPIA PISADA	Lectura = 0.001"	
CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)	DEFORMACION (Lectura)	DEFORMACION (mm)	DEFORMACION UNITARIA
0	0	0	0,0	0,0
200	0,22	3	0,1	0,0
400	0,44	12	0,3	0,1
600	0,67	22	0,6	0,2
800	0,89	36	0,9	0,3
1000	1,11	45	1,1	0,4
1200	1,33	57	1,4	0,5
1400	1,56	66	1,7	0,6
1600	1,78	74	1,9	0,6
1800	2,00	85	2,2	0,7
2000	2,22	99	2,5	0,8
2200	2,44	110	2,8	0,9
2400	2,67	124	3,1	1,0
2600	2,89	131	3,3	1,1
2800	3,11	144	3,7	1,2
3000	3,33	156	4,0	1,3
3200	3,56	162	4,1	1,4

3400	3,78	177	4,5	1,5
3600	4,00	185	4,7	1,6
3800	4,22	193	4,9	1,6
4000	4,44	200	5,1	1,7
4200	4,67	208	5,3	1,8
4400	4,89	215	5,5	1,8
4600	5,11	222	5,6	1,9

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE A UNIDADES DE MAMPOSTERIA H-10

ENSAYO No 1		LADRILLO H-10	Lectura = 0.001"	
CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)	DEFORMACION (Lectura)	DEFORMACION (mm)	DEFORMACION UNITARIA
0	0,00	0	0,0	0,0
200	0,67	1	0,0	0,0
400	1,33	20	0,5	0,3
600	2,00	25	0,6	0,3
800	2,67	30	0,8	0,4
1000	3,33	35	0,9	0,4
1200	4,00	40	1,0	0,5
1400	4,67	45	1,1	0,6
1600	5,33	50	1,3	0,6
1800	6,00	55	1,4	0,7
2000	6,67	57	1,4	0,7

2200	7,33	59	1,5	0,7
2400	8,00	61	1,5	0,8
2600	8,67	63	1,6	0,8
2800	9,33	65	1,7	0,8
3000	10,00	67	1,7	0,9
3200	10,67	69	1,8	0,9
3400	11,33	71	1,8	0,9
3600	12,00	73	1,9	0,9
3800	12,67	75	1,9	1,0
4000	13,33	77	2,0	1,0
4200	14,00	79	2,0	1,0
4400	14,67	82	2,1	1,0
4600	15,33	85	2,2	1,1
4800	16,00	88	2,2	1,1
5000	16,67	91	2,3	1,2
5200	17,33	94	2,4	1,2
5400	18,00	97	2,5	1,2
5600	18,67	100	2,5	1,3
5800	19,33	102	2,6	1,3
6000	20,00	104	2,6	1,3
6200	20,67	106	2,7	1,3
6400	21,33	108	2,7	1,4
6600	22,00	110	2,8	1,4
6800	22,67	112	2,8	1,4
7000	23,33	114	2,9	1,4
7200	24,00	116	2,9	1,5
7400	24,67	118	3,0	1,5
7600	25,33	120	3,0	1,5
7800	26,00	122	3,1	1,5

8000	26,67	124	3,1	1,6
8200	27,33	126	3,2	1,6

ENSAYO No 2		LADRILLO H-10	Lectura = 0.001"	
CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)	DEFORMACION (Lectura)	DEFORMACION (mm)	DEFORMACION UNITARIA
0	0,00	0	0,0	0,0
200	0,67	1	0,0	0,0
400	1,33	25	0,6	0,3
600	2,00	29	0,7	0,4
800	2,67	35	0,9	0,4
1000	3,33	37	0,9	0,5
1200	4,00	40	1,0	0,5
1400	4,67	46	1,2	0,6
1600	5,33	49	1,2	0,6
1800	6,00	53	1,3	0,7
2000	6,67	55	1,4	0,7
2200	7,33	60	1,5	0,8
2400	8,00	62	1,6	0,8
2600	8,67	66	1,7	0,8
2800	9,33	69	1,8	0,9
3000	10,00	73	1,9	0,9
3200	10,67	74	1,9	0,9
3400	11,33	76	1,9	1,0
3600	12,00	78	2,0	1,0
3800	12,67	82	2,1	1,0
4000	13,33	84	2,1	1,1

4200	14,00	88	2,2	1,1
4400	14,67	89	2,3	1,1
4600	15,33	92	2,3	1,2
4800	16,00	96	2,4	1,2
5000	16,67	97	2,5	1,2
5200	17,33	100	2,5	1,3
5400	18,00	104	2,6	1,3
5600	18,67	106	2,7	1,3
5800	19,33	108	2,7	1,4
6000	20,00	110	2,8	1,4
6200	20,67	112	2,8	1,4
6400	21,33	114	2,9	1,4
6600	22,00	116	2,9	1,5
6800	22,67	118	3,0	1,5
7000	23,33	122	3,1	1,5
7200	24,00	124	3,1	1,6
7400	24,67	127	3,2	1,6
7600	25,33	128	3,3	1,6

ENSAYO No 3		LADRILLO H-10	Lectura = 0.001"	
CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)	DEFORMACION (Lectura)	DEFORMACION (mm)	DEFORMACION UNITARIA
0	0,00	0	0,0	0,0
200	0,67	1	0,0	0,0
400	1,33	25	0,6	0,3
600	2,00	29	0,7	0,4
800	2,67	35	0,9	0,4
1000	3,33	37	0,9	0,5

1200	4,00	40	1,0	0,5
1400	4,67	46	1,2	0,6
1600	5,33	49	1,2	0,6
1800	6,00	53	1,3	0,7
2000	6,67	55	1,4	0,7
2200	7,33	60	1,5	0,8
2400	8,00	62	1,6	0,8
2600	8,67	66	1,7	0,8
2800	9,33	69	1,8	0,9
3000	10,00	73	1,9	0,9
3200	10,67	74	1,9	0,9
3400	11,33	76	1,9	1,0
3600	12,00	78	2,0	1,0
3800	12,67	82	2,1	1,0
4000	13,33	84	2,1	1,1
4200	14,00	86	2,2	1,1
4400	14,67	89	2,3	1,1
4600	15,33	92	2,3	1,2
4800	16,00	96	2,4	1,2
5000	16,67	97	2,5	1,2
5200	17,33	100	2,5	1,3
5400	18,00	104	2,6	1,3
5600	18,67	106	2,7	1,3
5800	19,33	108	2,7	1,4
6000	20,00	110	2,8	1,4
6200	20,67	112	2,8	1,4
6400	21,33	114	2,9	1,4
6600	22,00	116	2,9	1,5
6800	22,67	118	3,0	1,5

7000	23,33	119	3,0	1,5
7200	24,00	120	3,0	1,5

ENSAYO No 4		LADRILLO H-10	Lectura = 0.001"	
CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)	DEFORMACION (Lectura)	DEFORMACION (mm)	DEFORMACION UNITARIA
0	0,00	0	0,0	0,0
200	0,67	1	0,0	0,0
400	1,33	18	0,5	0,2
600	2,00	27	0,7	0,3
800	2,67	34	0,9	0,4
1000	3,33	39	1,0	0,5
1200	4,00	44	1,1	0,6
1400	4,67	49	1,2	0,6
1600	5,33	54	1,4	0,7
1800	6,00	59	1,5	0,7
2000	6,67	64	1,6	0,8
2200	7,33	69	1,8	0,9
2400	8,00	73	1,9	0,9
2600	8,67	77	2,0	1,0
2800	9,33	81	2,1	1,0
3000	10,00	85	2,2	1,1
3200	10,67	89	2,3	1,1
3400	11,33	91	2,3	1,2
3600	12,00	93	2,4	1,2
3800	12,67	95	2,4	1,2
4000	13,33	97	2,5	1,2
4200	14,00	99	2,5	1,3

4400	14,67	101	2,6	1,3
4600	15,33	103	2,6	1,3
4800	16,00	105	2,7	1,3
5000	16,67	107	2,7	1,4
5200	17,33	109	2,8	1,4
5400	18,00	111	2,8	1,4
5600	18,67	113	2,9	1,4
5800	19,33	115	2,9	1,5
6000	20,00	117	3,0	1,5
6200	20,67	119	3,0	1,5
6400	21,33	121	3,1	1,5
6600	22,00	123	3,1	1,6
6800	22,67	125	3,2	1,6
7000	23,33	127	3,2	1,6
7200	24,00	129	3,3	1,6
7400	24,67	131	3,3	1,7
7600	25,33	133	3,4	1,7

ENSAYO No 5		LADRILLO H-10	Lectura = 0.001"	
CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)	DEFORMACION (Lectura)	DEFORMACION (mm)	DEFORMACION UNITARIA
0	0,00	0	0,0	0,0
200	0,67	2	0,1	0,0
400	1,33	22	0,6	0,3
600	2,00	26	0,7	0,3
800	2,67	30	0,8	0,4
1000	3,33	34	0,9	0,4
1200	4,00	38	1,0	0,5

1400	4,67	43	1,1	0,5
1600	5,33	46	1,2	0,6
1800	6,00	49	1,2	0,6
2000	6,67	53	1,3	0,7
2200	7,33	57	1,4	0,7
2400	8,00	61	1,5	0,8
2600	8,67	64	1,6	0,8
2800	9,33	67	1,7	0,9
3000	10,00	70	1,8	0,9
3200	10,67	73	1,9	0,9
3400	11,33	76	1,9	1,0
3600	12,00	76	1,9	1,0
3800	12,67	78	2,0	1,0
4000	13,33	80	2,0	1,0
4200	14,00	84	2,1	1,1
4400	14,67	87	2,2	1,1
4600	15,33	90	2,3	1,1
4800	16,00	92	2,3	1,2
5000	16,67	94	2,4	1,2
5200	17,33	96	2,4	1,2
5400	18,00	100	2,5	1,3
5600	18,67	103	2,6	1,3
5800	19,33	106	2,7	1,4
6000	20,00	109	2,8	1,4
6200	20,67	112	2,8	1,4
6400	21,33	114	2,9	1,5
6600	22,00	116	2,9	1,5
6800	22,67	117	3,0	1,5
7000	23,33	118	3,0	1,5

**ANEXO C. TABLAS COMPARATIVAS DE COMPORTAMIENTO DE MUROS
SOMETIDOS ANTE CARGA LATERAL CICLICA.**

En este anexo se pueden encontrar los datos obtenidos en los ensayos de carga lateral cíclica con los cuales se analizaron los resultados de las viviendas tipo en estudio.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE CARGA LATERAL CICLICA A MUROS DE ADOBE.**

COMPORTAMIENTO CUALITATIVO DE MUROS TIPO I				
FAS E	Do (mm)	MURO NO REFORZADO (MNR1)	MURO REPARADO Y REFORZADO (MRR1)	MURO REFORZADO (MR1)
1	0.25	El muro presentó un comportamiento elástico no hubo fisuras		
2	0.50	El muro presentó un comportamiento elástico no hubo fisuras		
3	1.00	El muro presentó un comportamiento elástico no hubo fisuras		
4	2.50	El muro presentó un comportamiento elástico no hubo fisuras		
5	5.00	Aparecieron fisuras horizontales por las juntas superiores	Comportamiento elástico no hubo fisuras	Comportamiento elástico no hubo fisuras
6	7.50	Agrietamiento diagonal escalonado a través de las juntas	Comportamiento elástico no hubo fisuras	Comportamiento elástico no hubo fisuras
7	10.00	Se extendieron las fisuras	Grietas horizontales leves en las esquinas superiores	Comportamiento elástico no hubo fisuras

8	12.50	Agrietamiento diagonal escalonado a través de las juntas	Grieta diagonal semi-escalonada en el centro del tercio superior	Grietas horizontales leves en las esquinas superiores e inferiores
9	15.00	Las fisuras se unen generando un plano de falla en el tercio superior del muro	Grietas diagonales desde los exteriores del muro hacia el centro del mismo	Agrietamiento diagonal en el tercio inferior desde los exteriores hacia el centro
10	17.50	----- -----	Se extendieron las fisuras	Se extendieron las fisuras
11	20.00	----- ---	las fisuras diagonales se prolongaron hasta unirse y crear una falla a lo ancho del tercio central del muro	Se realizó exitosamente el protocolo de carga sin afectar considerablemente la estabilidad del muro
	40.00	-----	----- -	Se prolongó el ensayo para observar la falla del muro logrando formar una falla con la unión de las grietas diagonales del tercio inferior la falla obtenida fue de tipo cortante

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE CARGA LATERAL CICLICA A MUROS DE TAPIA PISADA.

COMPORTAMIENTO CUALITATIVO DE MUROS TIPO II				
FASE	Do (mm)	MURO NO REFORZADO (MNR2)	MURO REPARADO Y REFORZADO (MRR2)	MURO REFORZADO (MR2)
1	0.25	El muro presentó un comportamiento elástico no hubo fisuras		
2	0.50	El muro presentó un comportamiento elástico no hubo fisuras		
3	1.00	El muro presentó un comportamiento elástico no hubo fisuras		
4	2.50	El muro presentó un comportamiento elástico no hubo fisuras		
5	5.00	Aparecieron fisuras horizontales por la junta que une los bloques de la tapia	Comportamiento elástico no hubo fisuras	Comportamiento elástico no hubo fisuras
6	7.50	Agrietamiento diagonal desde la junta hacia el cimiento y hacia el extremo superior del muro	Aparecieron fisuras horizontales por la junta que une los bloques de la tapia	Aparecieron fisuras horizontales por la junta que une los bloques de la tapia
7	10.00	Se extendieron las fisuras	Agrietamiento diagonal en las esquinas del tercio superior del muro donde se aplica la fuerza	Se extendieron las fisuras
		Las grietas tanto horizontales como		Agrietamiento

8	12.50	<p>verticales se encuentran en el centro de la junta de la tapia trazando una falla por desplazamiento de la junta por corte fricción</p>	<p>Se extendieron las fisuras y aparecen fisuras menores desde las zonas de los pasadores</p>	<p>diagonal desde la junta que una las secciones de la tapia hacia el cimientto del muro</p>
9	15.00	<p>----- -----</p>	<p>Se presenta volcamiento de las esquinas superiores del muro provocando una pérdida de apoyos de aplicación de carga</p>	<p>Las grietas extienden sus trayectorias y se forman otras formando una especie de grieta con ramificaciones menores</p>
10	17.50	<p>----- -----</p>	<p>----- -----</p>	<p>Las grietas horizontales que se extendieron por la junta se encuentran en el centro del muro formando una falla por deslizamiento de junta por corte fricción y la grieta diagonal llega al cimientto</p>

11	20.00	----- -----	----- -----	----- -----
----	-------	----------------	----------------	----------------

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE CARGA LATERAL CICLICA A MUROS DE MAMPOSTERÍA H-10.

COMPORTAMIENTO CUALITATIVO DE MUROS TIPO III				
FASE	Do (mm)	MURO NO REFORZADO (MNR3)	MURO REPARADO Y REFORZADO (MRR3)	MURO REFORZADO (MR3)
1	0.25	El muro presentó un comportamiento elástico no hubo fisuras		
2	0.50	El muro presentó un comportamiento elástico no hubo fisuras		
3	1.00	El muro presentó un comportamiento elástico no hubo fisuras		
4	2.50	El muro presentó un comportamiento elástico no hubo fisuras		
5	5.00	El muro presentó un comportamiento elástico no hubo fisuras		
6	7.50	El muro presentó un comportamiento elástico no hubo fisuras		
7	10.00	Primera grieta horizontal por la junta de la segunda hilada hacia el interior del muro	Comportamiento elástico no hubo fisuras	Comportamiento elástico no hubo fisuras
8	12.50	Agrietamiento horizontal por la junta de la séptima hilada hacia el interior del muro	Agrietamiento horizontal en los extremos de la junta que une el muro a su cimiento	Aparición de grietas en las esquinas superiores del muro

9	15.00	La grieta horizontal superior cambia su trayectoria para descender en forma diagonal escalonada hacia el centro del muro	El agrietamiento horizontal se extiende hacia el interior del muro	Agrietamiento horizontal en los extremos de la junta que une el muro al su cimiento
10	17.50	El agrietamiento horizontal inferior extiende su longitud y por las juntas baja a la primera hilada y forma una falla por flexión a lo ancho del muro	Las grietas horizontales se encuentran en el centro del muro formando una falla por desprendimiento de base	Se extienden las fisuras en la base del muro
11	20.00	----- -----	----- -----	Se realizó exitosamente el protocolo de carga sin afectar considerablement e la estabilidad del muro
	50.00			Se prolongó el ensayo para observar la falla del muro logrando formar una falla con la unión de las grietas

				horizontales de la base del muro la falla generada fue de tipo desprendimiento de base
--	--	--	--	--