



**PROPUESTA DE REFORZAMIENTO DE MUROS DE ADOBE MODIFICADO  
CON CONFINAMIENTO DE MADERA ROLLIZA**

**CAMILO ANDRÉS FLÓREZ AGUILAR  
OLBER ALEXANDER LÓPEZ HERNÁNDEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2010**



**PROPUESTA DE REFORZAMIENTO DE MUROS DE ADOBE MODIFICADO  
CON CONFINAMIENTO DE MADERA ROLLIZA**

**CAMILO ANDRÉS FLÓREZ AGUILAR  
OLBER ALEXANDER LÓPEZ HERNÁNDEZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**Director  
RICARDO ALFREDO CRUZ HERNÁNDEZ  
Ingeniero Civil, Ph.d**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2010**



***A mis padres Milton Flórez Serrano y Esperanza Aguilar Díaz, por ser muy pacientes, amorosos y educarme y enseñarme el fruto del esfuerzo y el sacrificio.***

***Camilo Andrés Flórez Aguilar.***



***En mi primer lugar a Dios que siempre me brindo su compañía y fortaleza para no decaer ante las adversidades que la vida me ha presentado, a mis padres José Manuel López Muñoz e Irene Hernández de López quienes con su amor y con gran esfuerzo me han apoyado para poder salir adelante y poder llegar a alcanzar este gran logro tan importante para mi vida y a quienes les debo todo lo que soy, a quienes les agradezco haberme enseñado valorar la vida y que todo se alcanza con esfuerzos y sacrificios, a mi novia Patricia Villarreal Ballesteros quien ha sido mi compañera, mi amiga y mi voz de aliento para poder seguir adelante, que me ha acompañado en mi proceso de formación profesional y siempre ha estado ahí para no dejarme decaer ante las dificultades.***

***También a mis hermanos Luis José, José Manuel y Berenice López Hernández quienes de una u otra manera siempre me han apoyado, también a mi tía Mercedes Hernández y mi primo Santiago Navarro quienes me han brindado su apoyo y colaboración.***

***Olber Alexander López Hernández***

## AGRADECIMIENTOS

Después de muchos días y mucho esfuerzo hemos terminado el Proyecto para el título de Ingeniero Civil.

Es de justicia reconocer el trabajo y la dedicación de todas las personas que participaron en el y de una u otra forma aportaron su granito de arenas.

En primer lugar a nuestras familias y en especial a nuestros padres que sin su gran apoyo esto no sería realidad.

En segundo lugar a nuestro querido director del proyecto Ingeniero Ricardo Cruz, que antes de verlo como director fue nuestro amigo y nos demostró toda su calidad ética, profesional y académica.

Y en tercer lugar a todas aquellas personas que de una u otras formas nos colaboraron en la realización del proyecto, dentro de los cuales queremos resaltar al maestro Benito, a Adonai, Oscar, a la Ingeniera Tatiana Guarín, a la Ingeniera Andrea Corredor, a los laboratoristas Jaime y Jairo, a Guillermo Valencia y Santiago Navarro.

Mil y mil gracias a todos ustedes.

## CONTENIDO

	<b>pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>21</b>
<b>1. GENERALIDADES DE LA CONSTRUCCIÓN EN ADOBE</b>	<b>24</b>
<b>1.1. ADOBE</b>	<b>24</b>
1.1.1. Selección del suelo	25
1.1.2. Materiales para modificar el suelo	28
1.1.2.1. Emulsión asfáltica	28
1.1.2.2. La cal	30
1.1.2.3. Fibras naturales	31
1.1.2.3.1. Fibra de fique	32
<b>1.2. CONCEPTOS PARA ELABORACIÓN DE UNIDADES DE ADOBE</b>	<b>34</b>
1.2.1. Dimensionamiento de la unidad de adobe	34
1.2.2. Preparación del barro	35

1.2.3.	Moldeo	35
1.2.4.	Secado y almacenamiento	36
1.2.5.	Control de calidad	37
<b>1.3.</b>	<b>MUROS DE ADOBE</b>	<b>38</b>
1.3.1.	Ventajas de construcción con adobe	39
1.3.2.	Desventajas de construcción con adobe	39
1.3.3.	Cimentación estructuras de adobe	40
1.3.4.	Fallas en construcciones de adobe	42
1.3.5.	Alternativas para reforzamiento en muros de adobe	48
1.3.5.1.	Con maderas de confinamiento	49
1.3.5.1.1.	Madera para miembros estructurales	52
1.3.5.1.2.	Empalmes y conexiones en piezas de madera	54
1.3.5.2.	Con malla de acero y mortero de arena y cal	59
1.3.5.3.	Con instalación de viga collar	60

1.3.5.4.	Con confinamiento de concreto armado	61
1.3.6.	Comportamiento sísmico de las estructuras en adobe	62
1.3.7.	Ensayos realizados a muros de adobe	64
<b>2.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL</b>	<b>67</b>
<b>2.1.</b>	<b>MATERIA PRIMA</b>	<b>67</b>
2.1.1.	Suelo de Piedecuesta 1	68
2.1.2.	Suelo de Piedecuesta 2	69
<b>2.2.</b>	<b>ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE A UNIDADES DE ADOBE</b>	<b>70</b>
2.2.1.	Adobe modificado con emulsión asfáltica, cal y fique	74
2.2.2.	Adobe modificado con emulsión asfáltica, y fique	75
2.2.3.	Adobe modificado con cal y fique	76
2.2.4.	Adobe modificado con fique	77
2.2.5.	Adobe sin modificar	78
<b>2.3.</b>	<b>ENSAYO A MUROS DE ADOBE CON CARGA LATERAL CÍCLICA</b>	<b>79</b>



2.3.1.	Muro sin confinamiento	80
2.3.1.1.	Gráfica desplazamiento vs tiempo	82
2.3.1.2.	Gráfica fuerza vs desplazamiento	83
2.3.2.	Muro con confinamiento de madera rolliza	84
2.3.2.1.	Gráfica desplazamiento vs tiempo	89
2.3.2.2.	Gráfica fuerza vs desplazamiento	90
<b>3.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>91</b>
<b>3.1.</b>	<b>MATERIA PRIMA</b>	<b>91</b>
<b>3.2.</b>	<b>COMPRESIÓN SIMPLE A UNIDADES DE ADOBE</b>	<b>92</b>
<b>3.3.</b>	<b>MUROS DE ADOBE CON CARGA LATERAL CÍCLICA</b>	<b>95</b>
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>99</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>101</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>107</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Proceso de moldeo del adobe	35
Figura 2. Proceso de secado y almacenamiento	36
Figura 3. Control de calidad.	37
Figura 4. Detalle cimentación en forma de “L”	41
Figura 5. Detalle cimentación en forma de “T”	41
Figura 6. Mecanismo de falla tipo.	42
Figura 7. Mecanismo de falla tipo	43
Figura 8. Falla en las esquinas no confinadas de muros sueltos	44
Figura 9. Falla perpendicular al plano en las esquinas.	44
Figura 10. Mecanismo de falla tipo	45
Figura 11. Fallas por agrietamiento vertical o horizontal.	46

Figura 12. Mecanismo de falla tipo	46
Figura 13. Mecanismo de falla tipo.	47
Figura 14. Mecanismo de falla tipo	48
Figura 15. Detalle empalme de traslape.	56
Figura 16. Detalle empalme de tope.	57
Figura 17. Detalle empalme ensamblada.	58
Figura 18. Detalle conexión vigueta con pilar.	59
Figura 19. Separación de los muros en las esquinas después de un sismo.	63
Figura 20. Dispositivo de carga, vista en elevación.	66
Figura 21. Curva granulométrica suelo Piedecuesta 1	68
Figura 22. Curva granulométrica suelo Piedecuesta 2	69
Figura 23. Maquina Universal de Ensayos.	71
Figura 24. Dimensiones unidad de adobe.	72
Figura 25. Figue en proceso de tratamiento	73
Figura 26. Detalle montaje ensayo de muros.	80

Figura 27. Muro sin confinamiento.	81
Figura 28. Gráfica desplazamiento vs. tiempo.	82
Figura 29. Gráfica fuerza vs. desplazamiento.	83
Figura 30. Muro con confinamiento.	85
Figura 31. Detalle platinas de conexión.	85
Figura 32. Detalle diseño platina angular	87
Figura 33. Detalle diseño platina rectangular	88
Figura 34. Gráfica desplazamiento vs. tiempo.	89
Figura 35. Gráfica fuerza vs. desplazamiento.	90
Figura 36. Curvas granulométricas.	92
Figura 37. Falla agrietamiento muro sin confinamiento	97
Figura 38. Falla agrietamiento muro con confinamiento	98

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
<b>ANEXO A. DATOS GRANULOMETRIA</b>	107
<b>ANEXO B. DATOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>	109

## GLOSARIO

**ADOBE** es un ladrillo moldeado con tierra arcillosa y arena, secados al sol. La unión entre adobes se hace con una junta de morteros, que por general es barro.

**CAL** obtenida a través de la calcinación de las rocas calizas y conchas marinas, es un material usado hace millares de años.

**CIMENTACIÓN** conjunto de elementos estructurales cuya misión es transferir las cargas de la estructura al suelo.

**CONFINAMIENTO** consiste en la instalación de refuerzos horizontales y verticales con determinado material con el fin de aumentar la resistencia a la flexión de los muros y mantener la unidad de la estructura.

**EMULSIÓN ASFÁLTICA** derivado de los asfaltos, que son los betunes sólidos y semisólidos de color negro o castaño que desarrollan propiedades ligantes y cuya consistencia disminuye al ser calentados. Pueden ser de petróleo, obtenidas por la refinación de petróleo de base asfáltica o mixta, de roca, que se presenta impregnando un esqueleto pétreo, de lago, que se presentan en depósitos terrestres.

**ENSAYO DE CARGA CÍCLICA** es una prueba realizada a estructuras (muros), en fases monotónicas y cíclicas según el protocolo y el equipo utilizado, donde se puede controlar desplazamientos o cargas.

**ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE** es una prueba que se realiza aplicando una carga axial en una muestra, con el fin de determinar esfuerzos en tiempos determinados.

**FALLA DE AGRIETAMIENTO** es una línea que se forma en una estructura cuando es sometida a fuerzas dinámicas y no la soporta. Indicando que la estructura requiere un reforzamiento o un cambio total.

**FIQUE** son fibras duras, pues provienen de los haces vasculares, principalmente del xilema. En Colombia su mayor producción y distribución es en la región Andina.

**GRANULOMETRÍA** es la medición de los granos de determinado suelo y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala.

**MADERA ROLLIZA** también llamada madera sin elaborar, es de uso bastante frecuente en construcciones rurales y tradicionales. En varias regiones todavía se emplea en andamios, cimbras y obras falsas de diversos tipos. El uso más importante de la madera rolliza está en su empleo, como material estructural, para la edificación en la construcción sencilla y tradicional.

**MADERA TECA** es una especie de alto interés comercial y ecológico por su rápido crecimiento y la calidad de su madera. Es fina y dura, cualidad muy apreciada para diversos usos, es una madera que contiene sílice, fácil de trabajar, secar y preservar; su durabilidad natural es buena y tiene buena estabilidad dimensional.

**MURO DE CARGA** construcción lineal, vertical y exenta, elemento con funciones estructurales, es decir que soporta transmisión de carga de otros elementos estructurales.

## RESUMEN

**TITULO: PROPUESTA DE REFORZAMIENTO DE MUROS DE ADOBE MODIFICADO CON CONFINAMIENTO DE MADERA ROLLIZA \***

**AUTOR: CAMILO ANDRÉS FLÓREZ AGUILAR \*\***

**OLBER ALEXANDER LÓPEZ HERNÁNDEZ \*\***

**PALABRAS CLAVES: ADOBE MODIFICADO, FIQUE, MURO, CONFINAMIENTO MADERA ROLLIZA.**

### DESCRIPCIÓN

Este trabajo tiene como fin crear aportes en el sistema constructivo con adobe que ayuden a su reglamentación y su implementación en nuestro país.

Es importante esta investigación ya que se recobran las raíces de la construcción, ya que desde tiempos remotos se inició, utilizando materiales naturales tales como la tierra, para la elaboración de todo tipo de edificaciones.

El proyecto consistió en proceso de investigación práctico, que permitió mejorar las propiedades del Adobe como elemento, adicionando materiales para mejorar sus características. Ya teniendo unas características deseadas del elemento, se mejoro el sistema constructivo (muro) mediante confinamientos de madera rolliza, que permitieron una mejor respuesta, ante fuerzas sísmicas.

El trabajo se divide en cuatro capítulos empezando por un recuento teórico referente a todos estudios realizados referentes al tema, seguido de un capítulo de experimentación donde se encuentran ensayos realizados al suelo, al elemento (ladrillo de adobe) y al sistema constructivo (muros), ya en el tercer capítulo se puede encontrar el análisis de resultados de toda la experimentación, y finalizando con un capítulo de conclusiones y recomendaciones.

Como resultados se tiene un aumento en la resistencia a la compresión simple en los ladrillos de adobe modificado con fique y un aumento significativo en el sistema constructivo, representado con en el muro confinado con madera rolliza, que comparado con un muro sin confinar, al someterlos a ensayos de carga cíclica lateral, obtuvo un mayor desplazamiento y por ende mayor carga, antes de presentar su falla de agrietamiento.

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ricardo Alfredo Cruz Hernández

## SUMMARY

**TITLE: PROPOSAL FOR STRENGTHENING OF MODIFIED WITH ADOBE WALLS OF CONFINEMENT ROUNDWOOD\***

**AUTHOR: CAMILO ANDRÉS FLÓREZ AGUILAR \*\***

**OLBER ALEXANDER LÓPEZ HERNÁNDEZ \*\***

**KEY WORDS: ADOBE AMENDED, FIQUE, WALL, CONFINEMENT ROUNDWOOD**

### DESCRIPTION

This project is intended to create contributions in the adobe construction system to help its implementation and regulation in our country.

This is an important research as construction roots or principles can be recovered, knowing that since ancient times began, using prime materials such as land, for the manufacture for the different constructions of buildings.

The project involved a practical research process, which allowed the improvements of the properties of “Adobe” as an element, adding materials to improve its characteristics. Already having desired characteristics of the element, improved construction system (wall) by confinement of roundwood, which gave a better response to earthquake forces.

The research is divided into four chapters beginning with a theoretical account regarding all studies related to the subject, followed by a chapter where there are ground tests experiments, the item (mud brick) and the construction system (walls). Nowadays, in the third chapter you will find the results analysis of the whole experiment process followed by the fourth and last chapter which contain the conclusions and recommendations.

The results show that there is an increase of resistance, in simple words, the adobe bricks were modified with fique and a significant increase in the construction system, represented with wall bordered roundwood which compared to a brick wall bordering by subjecting to lateral cyclic loading tests, it happens to have a better displacement and hence greater burden, before submitting its failure by signs of cracks.

\* Work Degree

\*\* Faculty of Physicist - Mechanics. School of Civil Engineering. Directress: Ricardo Alfredo Cruz Hernández

## INTRODUCCIÓN

En Colombia al igual que en varios países latinoamericanos, existen muchas obras civiles realizadas con materiales naturales que se encuentran en zonas aledañas a la construcción. Estas construcciones realizadas desde hace varios años, mantienen un legado de historia, que a lo largo de los años han pasado de generación en generación y trasciende hasta nuestras décadas.

Rescatar esta herencia constructiva es una necesidad porque el contexto social de nuestro país muestra que un porcentaje alto de las personas no tienen una vivienda propia, y la razón más común es que no cuentan con el dinero suficiente; por esto la creación de un sistema constructivo económico sería muy útil, y en la tapia pisada y el Adobe se puede encontrar una alternativa que permita favorecer la solución de vivienda para las clases menos favorecidas.

Estos procesos constructivos son empíricos y se han ido mejorando a través de la experiencia, además en Colombia, y para no ir tan lejos, en Santander se pueden encontrar gran variedad de construcciones hechas en tapia pisada o en Adobe, sin embargo, no hay una norma que las regule.

Este proyecto tiene como fin proponer un reforzamiento con confinamiento de madera rolliza en muros de adobe modificado, que mejore la respuesta del muro ante cargas horizontales, partiendo de mezclas de adobe con diferentes porcentajes de asfalto, cal y fibras naturales, que mejore las propiedades respecto a un adobe natural, realizando ensayos de laboratorio que permitan demostrar el mejoramiento de las propiedades mecánicas del material para la construcción de muros. Así mismo construidos los muros proponer un confinamiento en madera

rolliza adecuado que garantice una mayor resistencia ante fuerzas sísmicas que un muro sin confinamiento.

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 en este tipo de materiales no tienen gran capacidad de disipar energía, por lo que son muy vulnerables a fuerzas dinámicas, y por esto es tan difícil lograr que estos procesos cumplan con la norma. Sin embargo, tenemos que aprovechar los materiales con los que contamos, 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 poder 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.

En este trabajo se enfatiza en el Adobe, como material para conformar un sistema estructural de muros. Se busca mejorar la calidad de los elementos del sistema (ladrillos), modificándolos con materiales que aumenten sus propiedades mecánicas (asfalto, cal y fibras naturales), ya que la mayor parte de estas construcciones han mostrado deficientes comportamientos ante los movimientos sísmicos, como también existen fallas debido a la falta de control en el proceso de elaboración y uso de éste material, donde priman los errores de ignorancia, propios de sistemas de construcción espontánea. Se propone evaluar el comportamiento con la construcción de un muro con Adobe (con una mezcla predeterminada) sin confinamiento, y uno con Adobe confinamiento en madera para mejorar la respuesta a sucesos dinámicos.

Toda la experiencia se concibe mediante pruebas de laboratorio, donde se pueda analizar diferentes opciones, y se observe si funciona el ladrillo obtenido y posteriormente el muro de adobe confinado en madera.

Esta metodología tiene como fin que la construcción de este tipo de edificaciones, sea totalmente responsable, y pueda salvaguardar la vida de las personas que la vayan a habitar, así mismo demostrar que los materiales con los que contamos en la región son útiles y que no sólo podemos construir con cemento y acero, además de resaltar su bajo precio en comparación a los sistemas modernos.

Este proyecto consta de cuatro capítulos, donde se puede encontrar en el primero generalidades de la construcción en adobe, que nos habla de toda la teoría y experiencia que se ha realizado. En un segundo capítulo titulado experimentación, se puede encontrar toda la experiencia realizada en el laboratorio Álvaro Beltrán Pinzón, dada en su mayoría en resultados gráficos con su explicación teórica pertinente. En el siguiente capítulo siguiente se encuentran los análisis de resultados, detallados para cada experiencia realizada en el laboratorio y en el último capítulo se pueden encontrar conclusiones y recomendaciones de acuerdo a los resultados analizados y la teoría y experiencia tenida en cuenta.

# 1. GENERALIDADES DE LA CONSTRUCCIÓN EN ADOBE

## 1.1. ADOBE

El adobe es un ladrillo moldeado con tierra arcillosa y arena, secados al sol. La unión entre adobes se hace con una junta de morteros, que por general es barro. Se recomienda utilizar suelos gruesos que no contengan piedras gruesas, raíces, ni tierra vegetal. Las piedras producen puntos de concentración de esfuerzos y las materias de origen orgánico se degradan con el tiempo y disminuyen la resistencia y durabilidad del elemento. [18]

La fabricación del adobe en la antigüedad era más rápida y fácil que el de la tierra. Tenía la ventaja de utilizar mano de obra económica (prisioneros de guerra). Fue utilizada en Babilonia donde se amasaba la tierra y se añadía el agua, se apisonaba con los pies en grandes cubetas sin profundidad. Para dar mayor consistencia a esta tierra mojada, se agregaba paja en pequeños trozos. La arcilla amasada se metía en moldes y generalmente eran expuestos al sol durante el verano. Con el fin de hacerlos más resistentes se cocían en hornos especiales. En Grecia fueron utilizados para construir los edificios públicos y construcciones privadas, las murallas de los edificios eran construidas con adobe y recubiertas con piedra. Los bajos relieves egipcios muestran que el ladrillo crudo era corrientemente utilizado, en la Biblia en el libro del éxodo se ilustra sobre la utilización de la paja en la fabricación de ladrillos. [19]

Uno de los inconvenientes que presenta el adobe es que se deshace fácilmente al contacto con la lluvia, por lo que se requiere un mantenimiento sostenido, que

debe hacerse con capas de barro (revoques de barro). No es correcto con mortero de cemento, puesto que la capa resultante es poco permeable al vapor de agua y conserva la humedad interior, por lo que se desharía el adobe desde adentro. Se recomienda que para las paredes externas se utilice como revoque un enlucido con base en la cal apagada en pasta, arcilla y arena, para la primera capa, en la segunda solamente pasta de cal y arena. Para las internas se puede hacer una mezcla de arcilla, arena y agua. Pero no solo tiene inconvenientes también tiene ventajas como lo es, la regulación térmica que produce en interior de una edificación logrando conservar el frío en época de verano y conserva el calor en épocas de invierno, lo cual sucede gracias a la gran inercia térmica que posee cada uno de sus elementos; otra ventaja que presenta es frente a la tapia pisada que es semejante, pero construida con encofrados para la cual se requiere mucho más tiempo de preparación que el adobe.

### 1.1.1. Selección del suelo

Los suelos están conformados por la mezcla, en distintas proporciones de cuatro elementos principalmente: gravillas, arenas, limos y arcillas.

- ✓ **Las gravillas:** Se denomina grava a las rocas de tamaño comprendido entre 2 y 64 mm, aunque no existe homogeneidad de criterio para el límite superior. La grava se usa como árido en la fabricación de hormigones También como lastre y revestimiento protector en cubiertas planas no transitables, y como filtrante en soleras y drenajes.
  
- ✓ **Las arenas:** Material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063mm y 2 mm. Una partícula individual dentro de este rango es llamada

grano de arena. Una roca consolidada y compuesta por estas partículas se denomina arenisca. Cuando se encuentra en estado seco no presenta cohesión pero muestra una gran fricción interna.

- ✓ **Los limos:** Material suelto con una granulometría comprendida entre la arena fina y la arcilla. Es un sedimento plástico incoherente transportado en suspensión por los ríos y por el viento, que se deposita en el lecho de los cursos de agua o sobre los terrenos que han sido inundados. Para que se clasifique como tal, el diámetro de las partículas de limo varía de 0,002 mm a 0,06 mm.
  
- ✓ **Las arcillas:** Está constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de minerales de aluminio. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, siendo blanca cuando es pura. Surge de la descomposición de rocas que contienen feldespato, originada en un proceso natural que dura decenas de miles de años. Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,002 mm. La arcilla tiene propiedades plásticas, lo que significa que al humedecerla puede ser modelada fácilmente. Al secarse se torna firme y cuando se somete a altas temperaturas aparecen reacciones químicas que, entre otros cambios, causan que la arcilla se convierta en un material permanentemente rígido, denominado cerámica.

<b>Escala granulométrica</b>	
<b>Partícula</b>	<b>Tamaño</b>
Arcillas	< 0,002 mm
Limos	0,002-0,06 mm
Arenas	0,06-2 mm
Gravas	2 mm-6 cm

En una granulometría adecuada, una proporción aceptable puede ser la siguiente: Arena 55 a 80%, limos 10 a 28%, arcilla 15 a 18%, contenido de materia orgánica inferior al 3%. Si la estabilización se realiza con asfalto, el contenido de las sales alcalinas no debe sobrepasar el 0.2%, porque los elementos pueden presentar desmoronamiento al cabo del tiempo. La inestabilidad de su volumen en presencia agua explica el fenómeno y contribuye a la baja resistencia del elemento frente a la erosión. Si se presente gran contenido de arena los granos no podrán ser bien ligados. La cohesión del conjunto será demasiado débil y el elemento se disgregará. En el caso de presentar materia orgánica el efecto de su descomposición se traduce en una inestabilidad con el tiempo, de las características del material, porosidad y mala resistencia frente al agua. [19]

## **1.1.2. Materiales para modificar el suelo**

### **1.1.2.1. Emulsión asfáltica**

Hay muchos tipos de productos de emulsión que se usan en forma cotidiana. Algunos de los más comunes son: la mayonesa, las pinturas, las tinturas para el cabello y los helados. En cada caso, ciertos procesos mecánicos y químicos que están involucrados permiten la combinación de dos o más materiales que bajo condiciones normales no se mezclarían. Un completo campo científico está dedicado al estudio de la emulsificación. No se tiene que entender cómo trabaja un motor de combustión interna para operar un automóvil. Tampoco se tiene que comprender la química completa de la emulsión para obtener resultados de alta calidad con una emulsión de asfalto. [20]

Los materiales bituminosos son todos aquellos que contienen betunes. Ejemplo: petróleo, asfalto, rocas asfálticas, alquitrán, brea, etc.

Los asfaltos son los betunes sólidos y semisólidos de color negro o castaño que desarrollan propiedades ligantes y cuya consistencia disminuye al ser calentados.

Pueden ser de petróleo, obtenidas por la refinación de petróleo de base asfáltica o mixta, de roca, que se presenta impregnando un esqueleto pétreo, de lago, que se presentan en depósitos terrestres. [19]

### ➤ **Criterios de selección de la emulsión asfáltica**

El tipo de emulsión asfáltica utilizada para fines de una estabilización debe ser preferiblemente de rotura lenta, para lograr regular la velocidad de rotura, y conseguir envolver el material durante el mezclado; para que su rompimiento se presente durante la compactación y que la rotura sea lenta cuando se culmine el proceso.

Entre las emulsiones asfálticas para la estabilización de suelos están: CRL-1 Emulsión asfáltica catiónica, rompimiento lento. CRL-1h Emulsión asfáltica catiónica, rompimiento súper estable. SS-A Emulsión asfáltica aniónica, rompimiento súper estable. [19]

### ➤ **Principio de la estabilización con emulsión asfáltica**

El asfalto actúa sobre las partículas más finas (arcillas y limos) únicos elementos inestables en presencia del agua. El asfalto fluidificado o en emulsión se presenta en forma de glóbulos microscópicos en suspensión en un disolvente o en agua. El líquido estabilizante, se mezcla con el suelo; cuando el disolvente se evapora, los glóbulos de asfalto se estiran formando películas muy finas adhiriendo en forma de un revestimiento sólido a la superficie de las partículas del suelo que las envuelven. El revestimiento es tan fino que el suelo es apenas coloreado. Una vez seco este último, tiene prácticamente las mismas características mecánicas que el suelo no tratado. Las partículas de arcilla no absorben más agua (no pierden su cohesión). El suelo es entonces, más resistente al agua, el asfalto, además, aporta una cohesión suplementaria a los suelos naturalmente poco coherentes y mejora sus resistencia mecánica. Un valor recomendable para la estabilización con emulsión asfáltica del suelo varía entre el 5% y el 7%. [19]

### 1.1.2.2. La cal

Obtenida a través de la calcinación de las rocas calizas y conchas marinas, es un material usado hace millares de años. En Mesopotamia o en América por la civilización Maya, por los egipcios, por los griegos o por los romanos; prácticamente todos los pueblos la utilizaran. Como revoco en diversificados y bellísimos revestimientos en enfoscados, en pinturas de blancura inmaculada, mas igualmente como agente aglutinador de piedras posibilitando una favorable repartición de las cargas actuantes sobre las estructuras y cimentaciones, o aún, como sellador en la confección de hormigones hechos con cal, arena y grava, resistentes en estanques.

Buena adherencia, por un lado, a las arenas y a las gravas y, por otro, a los materiales del soporte. Bajo coeficiente de capilaridad. Muy buena plasticidad y manejabilidad. Elevada permeabilidad al vapor de agua de los revocos y pinturas de cal. Elasticidad. Bactericida. Evita las eflorescencias provocadas por hongos y mohos pues es un anti – hongos. Módulo de elasticidad reducido. Regulador de la humedad, absorbiéndola cuando está en exceso y liberándola cuando el ambiente está seco. Gran durabilidad, con milenios de comprobación. Gastos de energía mucho más pequeños que con el cemento y mucho menos polucionarte. Su proceso, con absorción del gas carbónico del aire, que es el gran responsable por el efecto invernadero, como lo sabemos, va a ser ambientalmente muy favorable. Ecológicamente la piedra, el carbonato cálcico, vuelve a ser piedra otra vez, con la capacidad de intervención y de creatividad de los hombres. Inigualable relación con la luz y lo tacto, presentando colores y texturas singulares. Los fabricantes de tintas intentan presentar productos artificiales imitándola. Permite la autenticidad en las rehabilitaciones de los edificios antiguos, la compatibilidad con los soportes existentes y que el cemento con su rigidez y su menor impermeabilidad al vapor, que no al agua, va a estropear. [16]

### ➤ **Tratamiento de los suelos seleccionados**

La composición de los suelos a utilizar en la fabricación de unidades de mampostería es importante predeterminarla, pues dependiendo de ella varía el tratamiento para colocarlos en disposición de ser utilizados. Para el caso del segmento arcilloso los granos sufren un tratamiento de triturado, por cuanto debe buscarse la mayor pulverización posible para que la mezcla del suelo y la cal sea lo más homogénea que se pueda lograr y así aprovechar la reacción de la cal como elemento estabilizante. [20]

### ➤ **Proporciones de adición de la cal hidratada**

Al agregar cal al suelo se presenta una reacción con la parte arcillosa entre los iones de calcio y los minerales arcillosos. Para el estudio de la variación de dosificaciones de cal agregada al suelo se debe trabajar con porcentajes de 3, 5, 7 y 9% del peso del suelo, para determinar el porcentaje más adecuado con que se debe estabilizar el suelo. [20]

### **1.1.2.3. Fibras naturales**

La naturaleza, con su sabiduría, nos brinda para bienestar del ser humano muchos y valiosos productos; uno de ellos son las fibras, que provienen de dos fuentes: naturales, como las de origen vegetal, animal y mineral; y las sintéticas, que son fruto de la investigación del ser humano, y provienen básicamente del petróleo y gas natural, como el polipropileno, polietileno, dracón, rayón, nylon, entre otras.

Las fibras naturales de origen vegetal se dividen en dos grandes grupos: las blandas, que son básicamente de la corteza o fruto de plantas, como el lino, algodón, coco, damagua, entre otras; las duras, que tienen su origen en las hojas, como la cabuya, abacá, piña, palmas, entre otras. Las fibras de origen animal provienen del pelo de los animales como el caballo, cerdo o conejo, y se utilizan en peletería, además la seda y lana de oveja, llama, alpaca y otras.

Los usos de las fibras naturales son legendarios y de altísima aplicabilidad dentro de la agricultura, ambiente, farmacéutica, cordelería, empaques, aglomerados, construcción, decoración, artesanías, industria automotriz, textiles, confecciones, papel, aseo y otros usos como combustible, aislante térmico, entre otros. [22]

#### **1.1.2.3.1. Fibra de fique**

La planta de fique utilizada en esta investigación proviene del municipio de Curití y generalmente se cultiva en sitio con temperaturas entre los 18 y 23° centígrados, alturas entre los 1300 y 1900 m.s.n.m. y suelos finos. Las fibras del fique son fibras duras, pues provienen de los haces vasculares, principalmente del xilema. Los haces mecánicos del fique están constituidos de fibras elementales o fibrillas, soldadas entre sí con una cera o goma (cemento vegetal). De esta planta se obtiene, mediante un proceso mecánico manual, la fibra conocida como cabuya, compuesta por una serie de células alargadas, de paredes gruesas, o de grupos de células que forman un filamento o banda; y cuya principal característica es su resistencia a tracción, pues su función básica es sostener y dar rigidez a las hojas. Ya extraídas, las fibras pueden presentar longitudes que pueden variar entre 0.5 y 3 metros, y espesores de diámetro de 1/10 a 1/3 de milímetro; aunque su sección es variable a lo largo de ellas y no es circular. [21]

Todas las fibras absorben en estado ordinario una cierta proporción de humedad que, dentro de determinados límites, no es perjudicial, pero que, cuando se sobrepasa, puede llegar a facilitar el deterioro por agentes hidrolíticos.

La resistencia a tracción puede estar entre valores de 3850 y 7000 Kg/cm<sup>2</sup>. [24]

#### ➤ **Método de preservación de la fibra de fique**

Para prolongar la vida útil de la fibra dentro del suelo se puede tratar la fibra con diversas sustancias o soluciones químicas o biológicas como: dicromato de sodio, hidróxido de calcio, sulfato de cobre, arotar, etc., dentro de los cuales el mas apropiado, no solo por su fácil consecución, sino también por su baja toxicidad y economía es el hidróxido de calcio.

El procedimiento que siguió para la preservación indica que las fibras deben sumergirse en una solución al 10%, ésta debe prepararse antes de sumergir la fibra y se debe agitar constantemente, de la solución se utiliza solamente el sobrenadante o lechada. La mineralización se puede realizar a temperatura ambiente, y la solución con las fibras de fique se debe agitar durante uno a tres días. [21]

#### ➤ **Porcentaje en peso y longitud óptimos de las fibras**

Es claro que se debe determinar una cantidad y una longitud de fibra óptimas para realizar los ensayos de las probetas con fibra. Para poder encontrarlas se decidió basarse en el ensayo de compresión simple, puesto que es una propuesta muy representativa de los efectos que puede causar la adición de fibra de fique en el suelo, además de ser sencillo y de requerir poca cantidad de material.

Se determino trabajar con longitudes de 1.0, 1.5 y 2.0 centímetros y con porcentajes de 0.25, 0.5 y 0.75 % de peso total de cada bloque de adobe.

## 1.2. CONCEPTOS PARA ELABORACIÓN DE UNIDADES DE ADOBE

A continuación se dan a conocer un poco los criterios o especificaciones que se deben tener en cuenta para la elaboración de unidades de adobe, lo que se presenta en este documento se encuentra sustentado en documentos que se utilizaron para llevar a cabo la ejecución de este trabajo.

### 1.2.1. Dimensionamiento de la unidad de adobe

En vista que las dimensiones de los adobes son variadas, sólo es conveniente dictar sobre este tema algunas recomendaciones de carácter general.

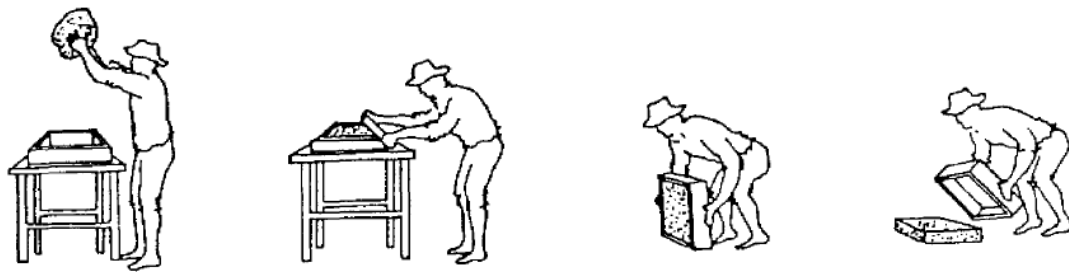
- La longitud no debe ser mayor que el doble de su ancho más el espesor de una junta de pega.
- La longitud no debe sobrepasar de 40 centímetros.
- La altura no debe ser mayor de 10 centímetros en lo posible.
- La relación entre la longitud y la altura debe ser aproximadamente de 4 a 1 para permitir un traslape horizontal en proporción 2 a 1, lo cual brinda seguridad ante el efecto de corte producido por los sismos. [30]

### 1.2.2. Preparación del barro

- Remojar el suelo y retirar las piedras mayores de 5 milímetros u otros elementos extraños.
- Mantener el suelo en reposo húmedo durante 24 horas, lo cual facilitará el mezclado.
- Antes de realizar el moldeo, se recomienda verificar la humedad correcta de la mezcla mediante una prueba sencilla que consiste en tomar un puñado de la mezcla y formar una bola, seguidamente dejarla caer al suelo desde una altura aproximada de un metro. Si se rompe en pocos pedazos grandes, hay suficiente agua; si se aplasta sin romperse, hay demasiada agua; y si se pulveriza en muchos pedazos pequeños, falta agua. [30]

### 1.2.3. Moldeo

**Figura 1. Proceso de moldeo del adobe**



Fuente: Manual para la construcción de viviendas de adobe.

El moldeo se efectúa de la siguiente manera:

- Lavar el molde y esparcir arena fina o aserrín en sus caras interiores antes de cada uso.
- Formar una bola con el barro y tirarla con fuerza al molde. Esta debe ser suficientemente grande para llenar toda la capacidad del molde, porque no deberán hacerse rellenos posteriores.
- Para cortar los excesos de mezcla y emparejar la superficie, utilizar una regla de madera. [30]

#### 1.2.4. Secado y almacenamiento

**Figura 2. Proceso de secado y almacenamiento**

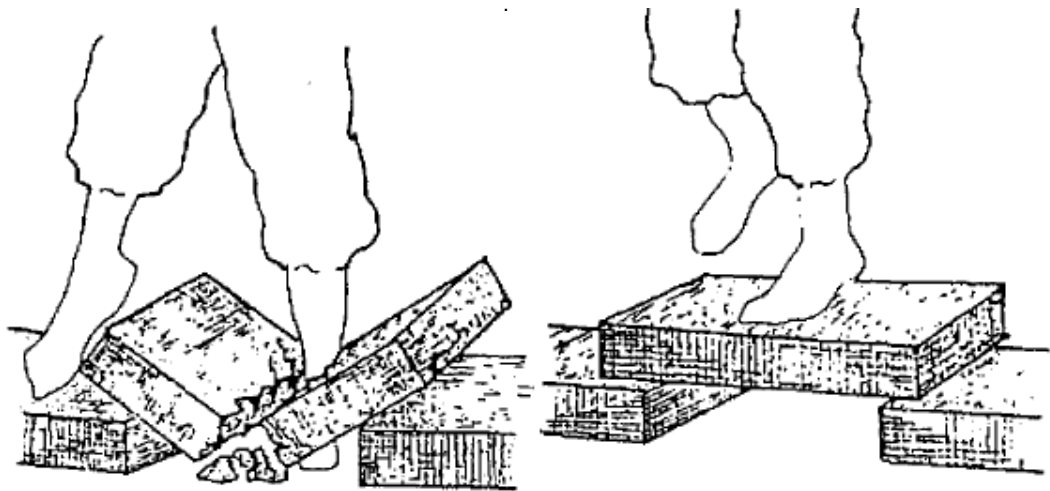


Fuente: Los autores.

- Para el secado de los adobes, utilizar una superficie horizontal, limpia y libre de impurezas orgánicas o sales. Este tendal deberá poder albergar la producción de una semana, tendrá que ser techado en épocas muy calurosas o lluviosas.
- Espolvorear arena fina sobre toda la superficie del tendal para evitar que se pequen los adobes.
- Luego de 3 días los adobes se podrán poner de canto y al cabo de una semana se deberán apilar. [30]

### 1.2.5. Control de calidad

**Figura 3. Control de calidad.**



Fuente: Manual para la construcción de viviendas de adobe.

- Si a las 4 semanas el adobe de prueba no resiste el peso de un hombre se debe agregar arcilla al barro.
- Si a las 4 semanas el adobe presenta grietas o deformaciones, es recomendable no utilizarlos posteriormente. [30]
- Se realizarán ensayos de compresión simple utilizando piezas totalmente secas, siendo el valor mínimo aceptable  $12 \text{ kg/cm}^2$ . [8]

### 1.3. MUROS DE ADOBE

Los muros son los elementos estructurales que resisten la mayor parte de las cargas actuantes en las construcciones de adobe. Por eso, cuantas más aberturas tengan las paredes para puertas o ventanas, se estará restando resistencia a la construcción.

Las dimensiones de las piezas en los muros de adobe son muy variables y responden tanto a la tradición como a criterios constructivos. Las dimensiones promedio de las piezas de adobe varían desde 0.30 m de largo x 0.15 m de ancho y 0.07 m de alto hasta dimensiones del orden de 0.40 m de largo x 0.20 m de ancho x 0.10 m de alto. [25]

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

- Los adobes deberán haber completado su proceso de secado, ser limpiados y mojados antes del asentamiento para que no absorban el agua del mortero y haya una buena adherencia entre el adobe y el mortero.

- Las capas horizontales del mortero no deben tener un espesor mayor a 2 cm.
- Las uniones verticales deben rellenarse completamente con mortero.
- La calidad del mortero debe ser alta con un contenido de arcilla alto para obtener una buena adherencia y una alta resistencia a la flexión.
- Es recomendable no avanzar más de 1.20 metros de altura de la pared por día, para poder dejarla secar, y no pierda resistencia. [30]

### **1.3.1. Ventajas de construcción con adobe**

- Menos cantidad de mano de obra que la tierra apisonada.
- Rapidez de ejecución una vez dispuesto el material.
- Habitable casi desde que se construye, necesita menos tiempo de secado que la tapia.
- Realización de aberturas e instalación de trabajos de carpintería en forma más simple que en la tapia.
- Rapidez de acabado por el revoque, ya que se realiza cuando los muros ya se han aireado.

### **1.3.2. Desventajas de construcción con adobe**

- Necesidad de clima relativamente seco para la preparación.
- Menos homogeneidad que la tapia.

- Necesidad de un buen revoque, si no los mampuestos se erosionan.
- Necesidad de una superficie importante para el secado de los bloques.
- Fragilidad del mampuesto, riesgo de roturas.

### 1.3.3. Cimentación estructuras de adobe

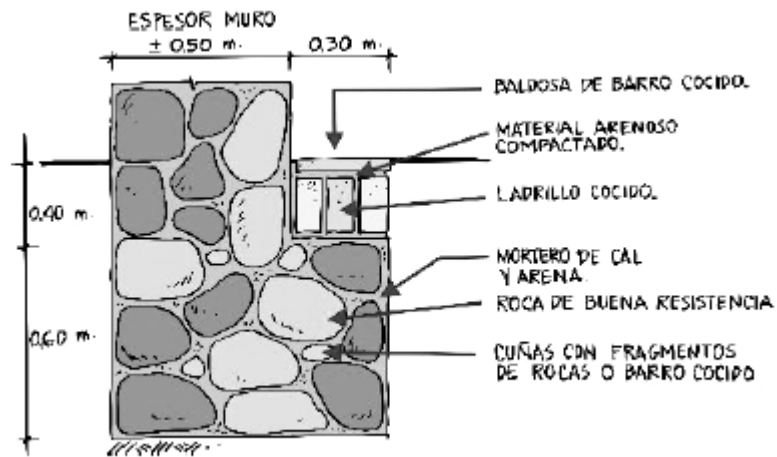
Los tipos de cimentaciones están constituidos en general por vigas corridas en piedra y material llenante conformando un entramado de vigas de cimentación bajo los muros principales de la edificación. En general, la profundidad de las cimentaciones alcanza el suelo firme por debajo de la capa de tierra negra u orgánica.

Las formas dominantes de la viga de cimentación encontradas son en “L”, en “T” invertida o una sección prismática del mismo ancho del muro (figuras 3 y 4).

Los apiques realizados evidencian la utilización de diferentes tipos de llenantes tales como suelo arenoso o lleno de cal y canto. Las rocas encontradas son de tipo angulosa, redondeada o una mezcla de las dos. Por otro lado, entre la cimentación y los muros se encuentra el sobrecimiento en material rígido y resistente, el cual tiene como propósito proteger el muro de tierra de la humedad, de la acción del agua superficial y de otras acciones que ocurren al nivel de piso.

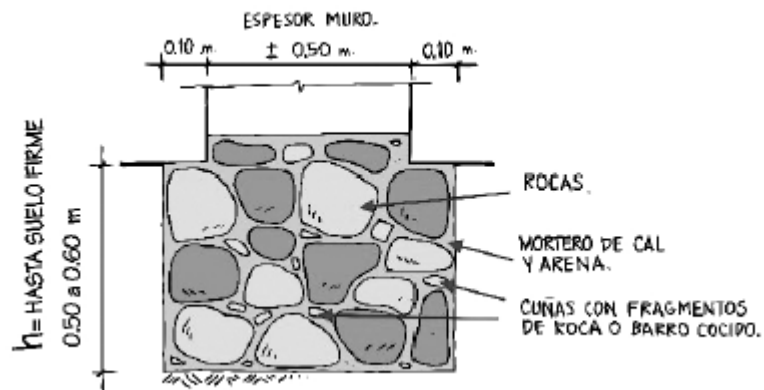
Así mismo, estos sobrecimientos conforman la base definitiva de asiento de los muros. Los sobrecimientos presentan una altura promedio de 50 cm. [25]

**Figura 4. Detalle cimentación en forma de “L”**



Fuente: Estudio de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada, Universidad de los Andes

**Figura 5. Detalle cimentación en forma de “T”**



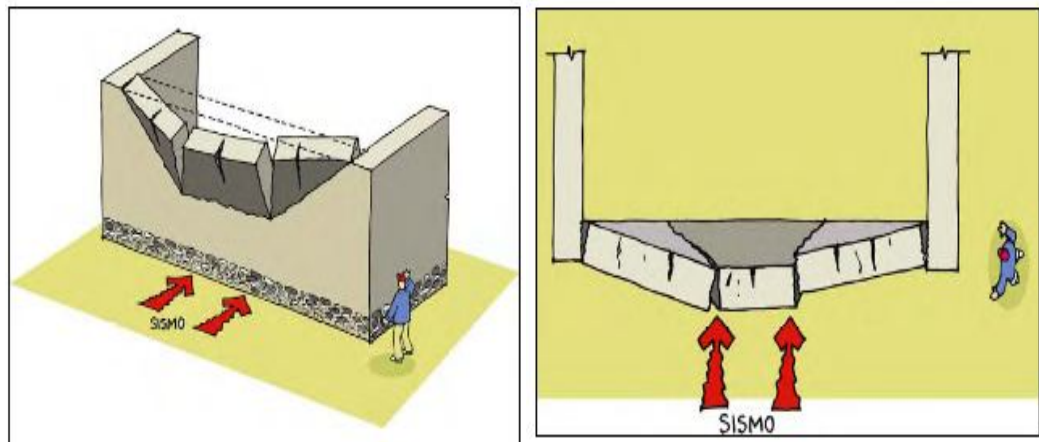
Fuente: Estudio de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada, Universidad de los Andes

### 1.3.4. Fallas en construcciones de adobe

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. Este tipo de mecanismo de falla es frecuente en muros largos sin restricciones transversales. [2]

**Figura 6. Mecanismo de falla tipo.**



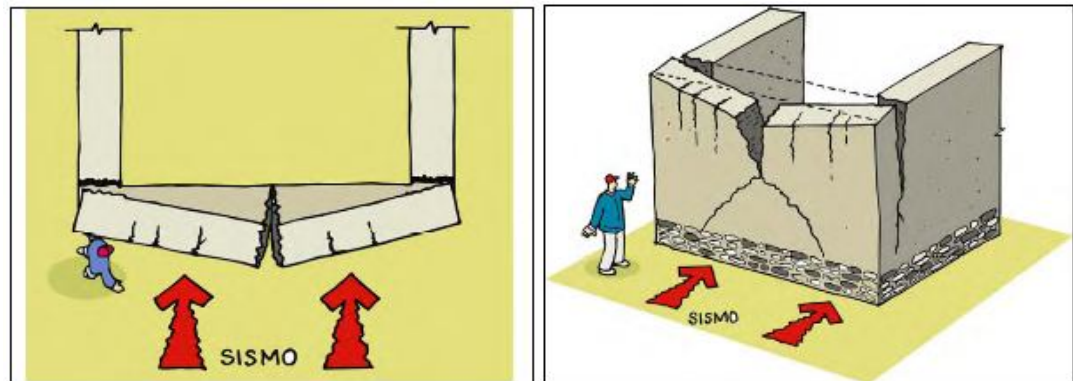
Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia.

- **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.

Este tipo de falla se presenta principalmente en muros altos y cortos o muros largos con restricciones laterales poco espaciadas. [2]

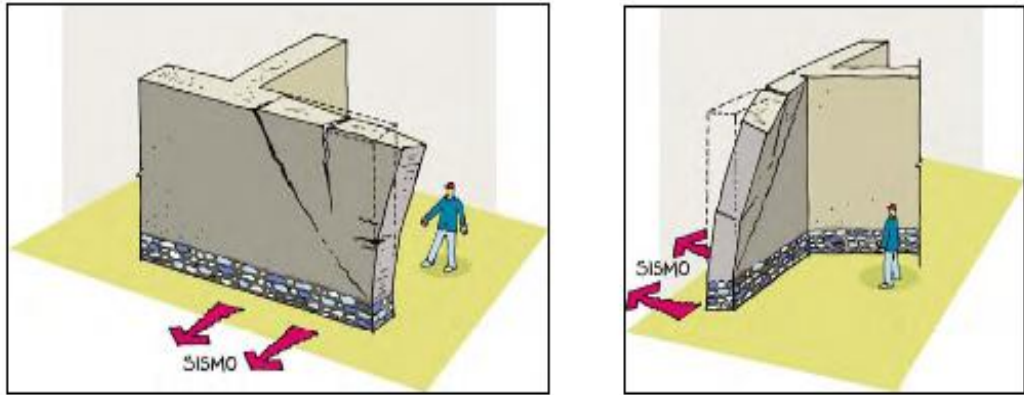
**Figura 7. Mecanismo de falla tipo**



Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia.

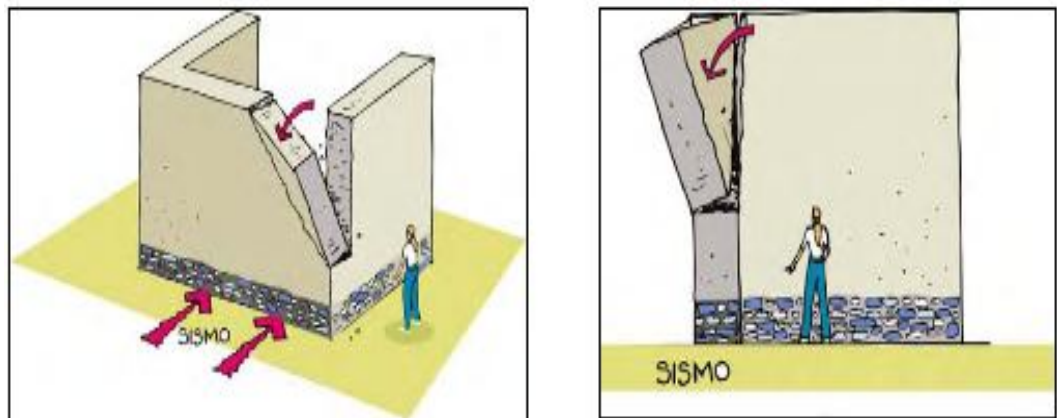
- **TIPO III:** Falla por flexión perpendicular al plano en las esquinas no confinadas de muros sueltos, o en esquinas no conectadas efectivamente con los muros transversales de restricción al mismo. [2]

**Figura 8. Falla en las esquinas no confinadas de muros sueltos**



Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia.

**Figura 9. Falla perpendicular al plano en las esquinas.**

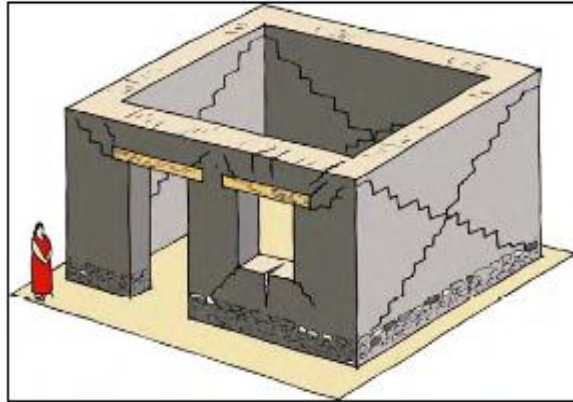


Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia.

- **TIPO IV:** Falla por cortante en el plano del muro asociada a altos empujes horizontales. En muchos casos estos agrietamientos están asociados a entresijos o cubiertas muy pesadas o con sobrecarga y se ven

magnificados con las aberturas correspondientes a las puertas y ventanas en los muros. [2]

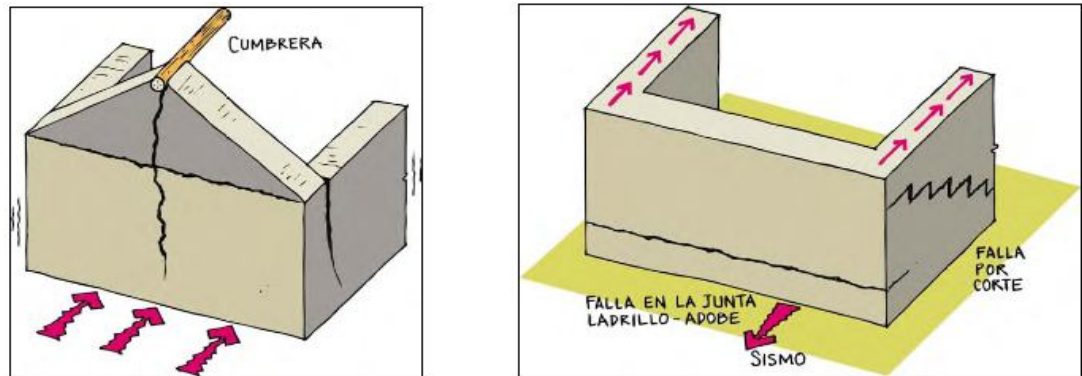
**Figura 10. Mecanismo de falla tipo**



Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia.

- **TIPO V:** Combinación de dos o más de los mecanismos antes mencionados. [2]

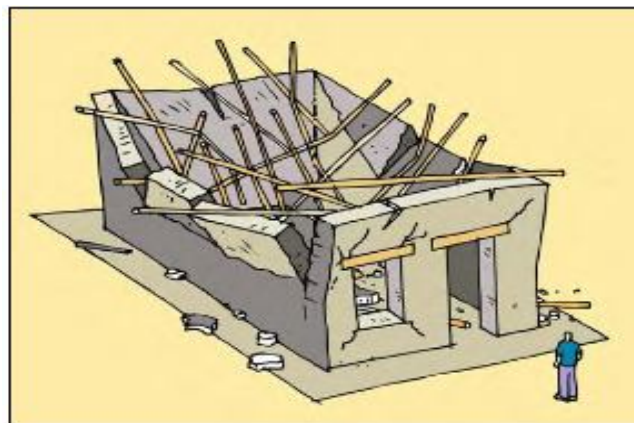
**Figura 11. Fallas por agrietamiento vertical o horizontal.**



Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia.

- **TIPO VI:** 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. [2]

**Figura 12. Mecanismo de falla tipo**

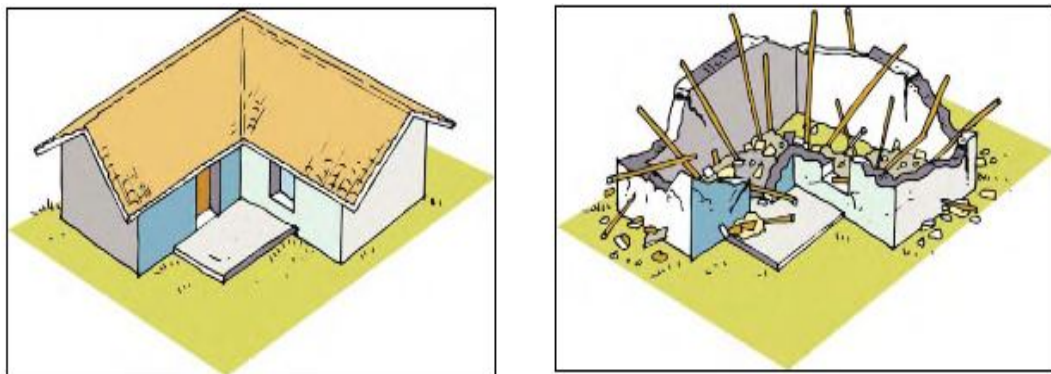


Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia.

- **TIPO VII:** Falla generalizada de la cubierta por ausencia de un apoyo adecuado o por mala estructuración de la misma. Usualmente La cubierta falla hacia el interior de la estructura, rompiendo la parte superior de los muros portantes.

Este tipo de mecanismo de falla es frecuente en edificaciones con cubiertas muy pesadas, mal concebidas estructuralmente o con por alto grado de deterioro a causa del ataque de insectos o cambios de humedad. [2]

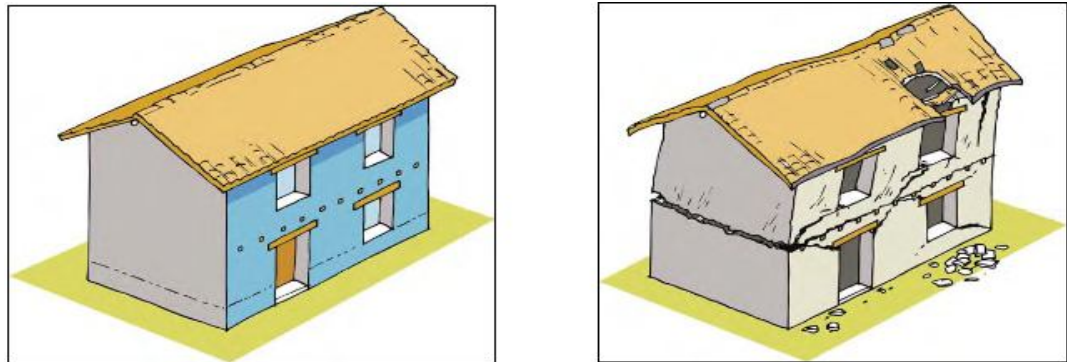
**Figura 13. Mecanismo de falla tipo.**



Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia.

- **TIPO VIII:** Falla que se presenta por mala conexión de los muros del primer piso con los del segundo; el entrepiso rompe los muros principales en forma casi horizontal, generando la inestabilidad del segundo piso.

Este tipo de mecanismo de falla es frecuente en edificaciones de dos o más pisos, con conexiones deficientes en los muros principales y la ausencia de un diafragma rígido en el entrepiso. [2]

**Figura 14. Mecanismo de falla tipo**

Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia.

### 1.3.5. Alternativas para reforzamiento en muros de adobe

Las características propias de este tipo de construcciones están relacionadas directamente con la reconocida vulnerabilidad sísmica que se les atribuye. No es factible proponer varios niveles de intervención o rehabilitación, como se propone en otros sistemas constructivos, y sólo puede pensarse en la práctica en una reestructuración integral que permita lograr un nivel de seguridad equivalente con el que tendría una vivienda nueva construida con criterios sismoresistentes. Las alternativas de reforzamiento que se han presentado tienen como propósito la reducción de la vulnerabilidad de la edificación pero, en particular, su objetivo es retardar al máximo el colapso total o parcial en caso de sismos extremos, con el fin de proteger la vida de los ocupantes, dando tiempo a las personas de escapar antes de que ocurra el colapso.

### 1.3.5.1. Con maderas de confinamiento

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 puntillas convencionales clavadas sobre las tablas para proporcionar una superficie de contacto rugosa. (Estudios de vulnerabilidad, sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada).

➤ **Para una utilización adecuada de la madera se debe tener en cuenta:**

- Las propiedades que, dentro de ciertos límites, son comunes a todas las maderas, cualquiera que sea su procedencia.
- Las propiedades específicas características de una especie determinada y que rigen su aprovechamiento para ciertos usos.
- Los grados de variación que pueden presentarse dentro de una misma especie y extensión en que pueda afectar esta variedad a los usos específicos de tal especie. [23]

### ➤ **Propiedades comunes a todas las maderas**

Los factores principales que distinguen la madera de los demás materiales, además de la abundancia y renovación, especialmente en su adaptabilidad para fines de construcción son las siguientes:

- La madera es bastante liviana y por tanto de manejo fácil. Cuando está seca puede transportarse a largas distancias con un costo relativamente bajo.
- La manera puede trabajarse fácilmente en diversas formas con herramientas sencillas y relativamente con poca destreza.
- Por su porosidad y por la naturaleza de la sustancia de las paredes de la célula, la madera es una de las pocas materias primas principales que puede unirse con clavos y tornillos.
- La naturaleza porosa de la madera hace posible, también, la absorción de pinturas y otros acabados.
- La madera es fuerte para su peso, y cuando está seca y no tiene defectos puede compararse peso por peso y muy favorablemente, en resistencia, con el acero y con otros materiales de construcción.
- La madera es mala conductora del calor, del sonido y de la electricidad, por lo que resulta un material aislante excelente.
- La madera se dilata y se contrae muy poco con los cambios de temperatura.
- La madera absorbe choques y vibraciones.
- La madera no se oxida y resiste la acción de ácido y del agua salada.
- Los defectos presentes en la madera pueden descubrirse frecuentemente en la superficie, lo que permite rechazarla, o cambiarla si es el caso en que ya se esté usando.

- Algunas maderas son ornamentales y no requieren más tratamiento que el que puedan sacar más partido aún de su dibujo natural.
- Las estructuras de madera pueden desmontarse fácilmente.
- La madera no se cristaliza ni se vuelve quebradiza como los metales, ni pierde sus características de cohesión, como el hormigón, cuando se somete a temperaturas bajas.
- La madera antes de quebrarse presenta síntomas que lo anuncian.

➤ **Desventajas de la madera**

- La madera no puede ser extraída por hileras o laminada en forma nuevas. El aumento de su longitud ha de ser, por tanto, mediante encolado o por uniones con agarradores metálicos.
- La madera tiene una dureza y resistencia limitadas, sin embargo utilizando piezas de tamaño adecuado, se pueden mejorar estas características.
- La madera es un material higroscópico, por tanto, su contenido de humedad varía con los cambios de humedad atmosférica, estos cambios de humedad atmosférica modifican sus propiedades de solidez y sus dimensiones.
- La madera, a diferencia de otros materiales de construcción, se pudre y está sujeta a ataques de insectos, sin embargo su duración se puede prolongar utilizando productos preservativos.
- La madera arde, y una vez encendida desprende gases combustibles que tienen a aumentar la combustión, aún hasta después que la fuente originaria del calor haya desaparecido.
- La solidez de la madera es variable, tanto que en los mismos trozos de un árbol difiere, además, varían las propiedades de solidez según la dirección de la veta.

### 1.3.5.1.1. Madera para miembros estructurales

A diferencia de muchos materiales de construcción, la madera no es un material elaborado, sino orgánico, que generalmente se usa en su estado natural. De los muchos factores que influyen en su resistencia los más importantes son: la densidad, los defectos naturales y su contenido de humedad. A causa de los defectos y de las variaciones inherentes a la madera, es imposible asignarle esfuerzos unitarios de trabajo con el grado de precisión que se hace en el acero o en el concreto. Desde el punto de vista de la ingeniería, la madera presenta problemas más complejos y variados que muchos otros materiales estructurales. [23]

#### ➤ **Madera rolliza**

También llamada madera sin elaborar, es de uso bastante frecuente en construcciones rurales y tradicionales. En varias regiones todavía se emplea en andamios, cimbras y obras falsas de diversos tipos. Un empleo bastante exitoso de este producto es en el caso de líneas de transmisión de energía eléctrica y de teléfono. En algunos puentes de caballete todavía se emplea como elementos verticales de carga. Un uso algo difundido en otras regiones del mundo es la construcción de viviendas en construcciones industriales y rurales como elementos soportantes de la cubierta, como los muros y, en ocasiones hasta los pisos. Un uso tradicional que tiende a desaparecer es la construcción de cabañas con troncos. [28]

El volumen que alcanza es grande, y en términos de cantidad ocupa el segundo lugar después de la leña entre los productos del bosque utilizados en la mayor parte de los países en desarrollo. En estos países, la madera rolliza continúa siendo un producto de gran importancia. [29]

Desde un punto de vista cuantitativo, el uso más importante de la madera rolliza está en su empleo, como material estructural, para la edificación en la construcción sencilla y tradicional. Con el aumento de la renta, se sustituye progresivamente como material de construcción principal por otros más duraderos, pero continúa empleándose para la edificación en los medios rurales y agrícolas y para usos tales como construcción de vallas. Por consiguiente, la madera rolliza continúa siendo un importante componente de la economía usuaria de la madera en la medida en que continúe siendo grande el sector rural. [29]

La madera rolliza se utiliza también extensamente para soportes de andamiajes y tablas de encofrado, usos que absorben una gran parte del aprovechamiento de esta madera en muchos países desarrollados. En estas aplicaciones, hay una fuerte tendencia a sustituir la madera por el metal, y, al mismo tiempo, los nuevos sistemas industrializados de edificación, que exigen poco más trabajo *in situ* que el de la ensambladura en seco de elementos prefabricados, reducen la necesidad de andamiajes y encofrados de cualquier clase. [29]

#### ➤ **Madera teca**

“*Tectona grandis* L.” más conocida como Teca es una especie de alto interés comercial y ecológico por su rápido crecimiento y la calidad de su madera. Es una especie que tiene graves problemas para la propagación por su alta variabilidad genética de las plantas producidas por semillas.

Es una especie forestal tropical introducida, es originaria de la India, Tailandia y Laos. Esta especie rápidamente ha ganado un puesto preferencial en el mercado mundial por lo vistoso de la madera y la resistencia enfermedades, entre otras razones. [31]

### ➤ **Características madera teca**

La madera de teca es fina y dura, cualidad muy apreciada para diversos usos, es una madera que contiene sílice; con una densidad de 0.61 a 0.69; fácil de trabajar, secar y preservar; su durabilidad natural es buena y tiene buena estabilidad dimensional.

No es corrosiva, tiene resistencia a las termitas, los hongos y a la intemperie. Tiene un aceite antiséptico que la hace muy resistente y la protege del ataque de diversos organismos.

Por todas las características anteriores y por su belleza, se considera una de las especies más valiosas del mundo.

Según Altuve(1986), la madera verde de teca, de siete años de edad, presenta una densidad de  $1.02 \frac{g}{cm^3}$  y seca al horno de  $0.57 \frac{g}{cm^3}$ ; a esta edad la madera es de color castaño amarillento, a veces dorado que luego se torna castaño oscuro. [27]

#### **1.3.5.1.2. Empalmes y conexiones en piezas de madera**

Para la construcción de estructuras de confinamiento en madera es necesario tener estructuras sólidas, que al ser solicitadas por los diferentes esfuerzos internos o externos, respondan solidariamente como un todo integrado, para esto se pueden aplicar conexiones que pueden ser de diversas maneras.

### ➤ **Empalmes de vigas**

La necesidad de unir dos vigas longitudinalmente, que permita alcanzar o cubrir una luz necesaria, debe ser estudiada de manera que los empalmes se produzcan en apoyos intermedios sobre tabiques u otras vigas.

Estos empalmes pueden ser traslapados, de tope o ensamblados, cuyas soluciones definitivas deben ser previamente calculadas. [32]

- **De traslape**

Este tipo de empalme, bastante utilizado por lo simple y económico, no requiere ningún elemento ni trabajo adicional de cortes o rebajes especiales en las piezas que se desean unir. Tiene el inconveniente que se produce un desplazamiento en el eje de las vigas, dando como resultado un desfase en las juntas de tableros del piso o entrepiso. [32]

**Figura 15. Detalle empalme de traslape.**

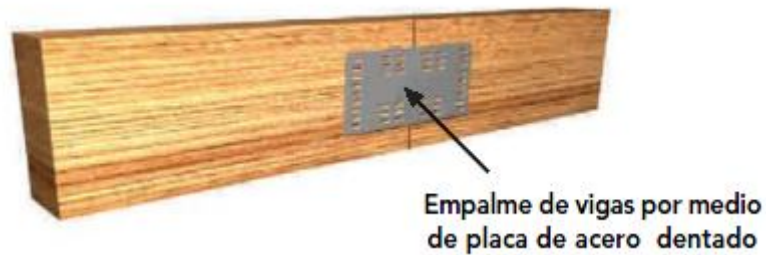


Fuente: Manual para la construcción de viviendas en madera.

- **De tope**

Empalme que se privilegia normalmente cuando la posición de las vigas sirve, además de modulación, para tableros de piso o placas de cielo, obteniendo una línea de clavado recto. En este caso el empalme requiere de elementos adicionales de madera o metálicos en la unión. [32]

**Figura 16. Detalle empalme de tope.**



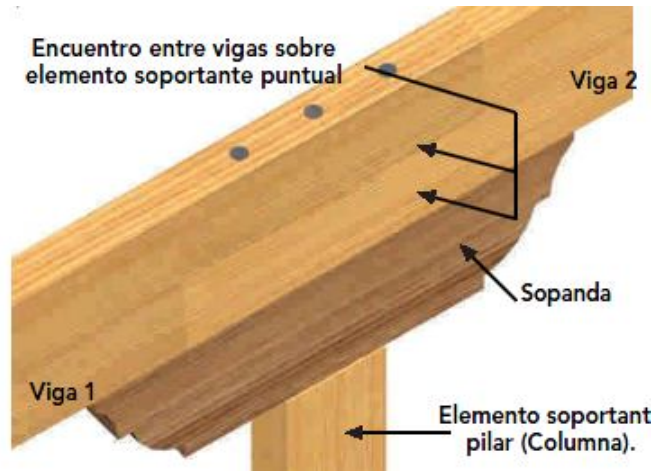
Fuente: Manual para la construcción de viviendas en madera.

- **Ensambladas**

Este tipo de empalme se utiliza preferentemente en envigados de techumbre cuando el diseño considera que queden a la vista, ya que los empalmes anteriormente descritos quedarán ocultos al instalar el cielo bajo las vigas.

Estos ensambles requieren de una preocupación especial en los cortes y ubicación, generalmente en el eje de los apoyos. Si las vigas forman una continuidad, podrán ejecutarse en el punto de inflexión en que el momento flector es nulo, o sea, a una distancia aproximada del apoyo equivalente a  $1/4$  de la luz libre. [32]

**Figura 17. Detalle empalme ensamblada.**



Fuente: Manual para la construcción de viviendas en madera.

### ➤ **Conexiones de vigas**

Los encuentros entre vigas (en diferentes ángulos) y con otros elementos verticales como pilares o columnas, son los que se denominan conexiones. Estas son uniones que bajo el punto de vista estructural resultan de mucha importancia, por los esfuerzos de corte y momento torsor presentes en dichos nudos.

Tradicionalmente estas conexiones se resolvieron mediante cortes a media madera, caja y/o espiga, las que fueron reemplazadas por el uso de pletinas de acero que se fabrican artesanalmente según necesidad. [32]

**Figura 18. Detalle conexión vigueta con pilar.**



Fuente: Manual para la construcción de viviendas en madera.

### **1.3.5.2. Con malla de acero y mortero de arena y cal**

Consiste en instalar mallas con vena por franjas horizontales y verticales (simulando franjas verticales y horizontales confinadas) en las zonas críticas de los muros principales de la vivienda. Los tramos de malla se instalan en la cara interna y externa del muro en forma simultánea. Las mallas de las dos caras se interconectan con alambrones de 8 mm colocado en orificios previamente perforados los cuales se rellenan con mortero de cal y arena. El amarre del alambón y la malla se realiza únicamente en las venas de la malla. Los

alambrones van espaciados cada 20 cm en promedio en las dos direcciones. Posteriormente la malla se recubre con mortero de cal y arena. [2]

Lo que se pretende con esta medida evitar inestabilidad lateral que se presenta de forma súbita en viviendas no reforzadas cuando se agrietan durante la ocurrencia del terremoto.

➤ **Materiales:**

- ✓ Malla con vena calibre 19
- ✓ Cal apagada
- ✓ Arena fina
- ✓ Alambrones de 8 mm
- ✓ Puntillas de 2" de longitud.

### **1.3.5.3. Con instalación de viga collar**

Consiste en la colocación de una viga en la parte superior del muro y alrededor de todo el perímetro de la casa de adobe o de tapia pisada. Esta viga corona puede ser de madera o de concreto. Dado que pueden presentarse efectos de contracción de 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 un elemento de borde 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. Para efectos de la investigación

llevada a cabo, se estudian numérica y experimentalmente las dos primeras alternativas para evaluar sus fortalezas y debilidades. [25]

#### **1.3.5.4. Con confinamiento de concreto armado**

Consiste en la construcción de muros de adobe confinados por elementos de concreto armado, siguiendo el método tradicional de construcción para muros portantes de albañilería confinada, es decir, primero se construye el muro de adobe, posteriormente se procede con el vaciado de las columnas y, finalmente, se vacía la viga solera.

Cuando los muros de adobe requieran el reforzamiento de columnas, vigas y llaves de concreto armado, deberán tomarse algunas precauciones para evitar los aspectos desfavorables de la unión con el concreto como:

- Columnas de diseño especial que permita que el concreto armado sujete la masa de adobe sin golpearla y sin producir concentración de esfuerzos.
- Contacto firme entre ambos materiales para garantizar, que exista una transferencia de fuerzas horizontales en las superficies de contacto, evitando así el golpe del concreto armado contra la estructura del adobe.
- Cuando se emplean vigas de concreto ubicadas a nivel de entresijos y apoyadas a muros de adobe, deben aislarse mediante una ligera superficie de yeso para que los adobes no sean dañados en casos de sismos. [26]

### 1.3.6. Comportamiento sísmico de las estructuras en adobe

El adobe es un material poco adecuado para la construcción en áreas sísmicas pues es masivo, débil y frágil. Debido a su gran masa, los muros de adobe atraen durante un sismo grandes fuerzas de inercia, que no son capaces de absorber pues la resistencia de los muros de adobe es muy baja, comparada con la de otros materiales. La resistencia a la tracción es mínima, mientras que según la Norma Peruana de Adobe, su resistencia a la compresión y al corte son de apenas  $2 \text{ kg/cm}^2$  y  $0,25 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente. [15]

Por otra parte, el mortero, elemento responsable de la homogeneidad de la mampostería, no es capaz de deformarse sin perder su integridad. Además, las uniones en las esquinas de las viviendas, al carecer de refuerzo o sistemas de conexión, son débiles y fácilmente durante un evento sísmico se separan los muros comportándose como un muro en voladizo, llevando así al colapso de la estructura. [15].

**Figura 19. Separación de los muros en las esquinas después de un sismo.**



Fuente: Capítulo de ingeniería civil del consejo departamental del colegio de ingenieros del Perú.

En nuestro país han ocurrido eventos sísmicos de gran magnitud e importancia en donde se reflejan las deficiencias de las estructuras construidas en Adobe, como los que se presentaron en las ciudades de Cúcuta en 1.875, Popayán en 1.983 y Armero en 1.999, que dejaron huella en la historia de nuestro país y grandes pérdidas en el sector social y económico.

Se puede concluir que las construcciones históricas de adobe han sido capaces de soportar diversos eventos sísmicos a lo largo de de los siglos debido principalmente a las grandes dimensiones de sus muros y a la regularidad de sus configuraciones simétricas. Pero esto no se puede considerar como el principal indicio de sismo resistencia ya que puede conducir a equívocos y a consecuencias nefastas cuando se presenta un evento sísmico. [2]. Hoy en día cuando en las construcciones modernas de adobe se reducen sustancialmente los espesores de

los muros y se alejan de las configuraciones simétricas, se evidencian las características negativas de este material. El sistema tradicional de techado contribuye también a aumentar la vulnerabilidad de estas construcciones.

### **1.3.7. Ensayos realizados a muros de adobe**

En este ítem podemos encontrar estudios realizados con anterioridad en muros de adobe en donde se buscaba estudiar el comportamiento de este sistema constructivo, ante fuerzas dinámicas, entre los muchos que se pueden encontrar en la literatura cabe destacar los siguientes: El realizado en la PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, por Ángel San Bartolomé y Richard Pehovaz, el cual se titula “COMPORTAMIENTO A CARGA LATERAL CÍCLICA DE MUROS DE ADOBE CONFINADOS”; el artículo publicado en la revista de INGENIERÍA SÍSMICA, llevado a cabo por Tena Colunga, Juárez Ángeles y Salinas Vallejo, el cual se titula como “RESISTENCIA Y DEFORMACIÓN DE MUROS DE MAMPOSTERÍA COMBINADA Y CONFINADA SUJETAS A CARGAS LATERALES” y el estudio realizado en la PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, por Ottazzi, Yep, Blondet, Villa-García y Gionocchio, titulado “ENSAYOS DE SIMULACIÓN SÍSMICA DE VIVIENDAS DE ADOBE”. De esta literatura se tomo la experimentación hecha para basarnos para la ejecución de los ensayos de este proyecto.

#### **➤ Ensayos de carga lateral cíclica**

- El ensayo consiste en aplicar carga lateral cíclica a los muros, controlando el desplazamiento horizontal de la solera (Do). Para generar la carga lateral (V) se utilizó un actuador dinámico, mientras que los desplazamientos

fueron medidos con LVDT. Se realizaron 11 fases con un número determinado de ciclos hasta lograr la estabilización de los lazos histeréticos. La velocidad del ensayo fue de 1 ciclo cada 4 minutos. Al final de cada ensayo, se aplicó un desplazamiento  $D_0$  armónico con una amplitud de 10 mm y una frecuencia de 1Hz. Además, se realizó el ensayo monotónico hasta alcanzar un desplazamiento máximo de 20 mm. [26]

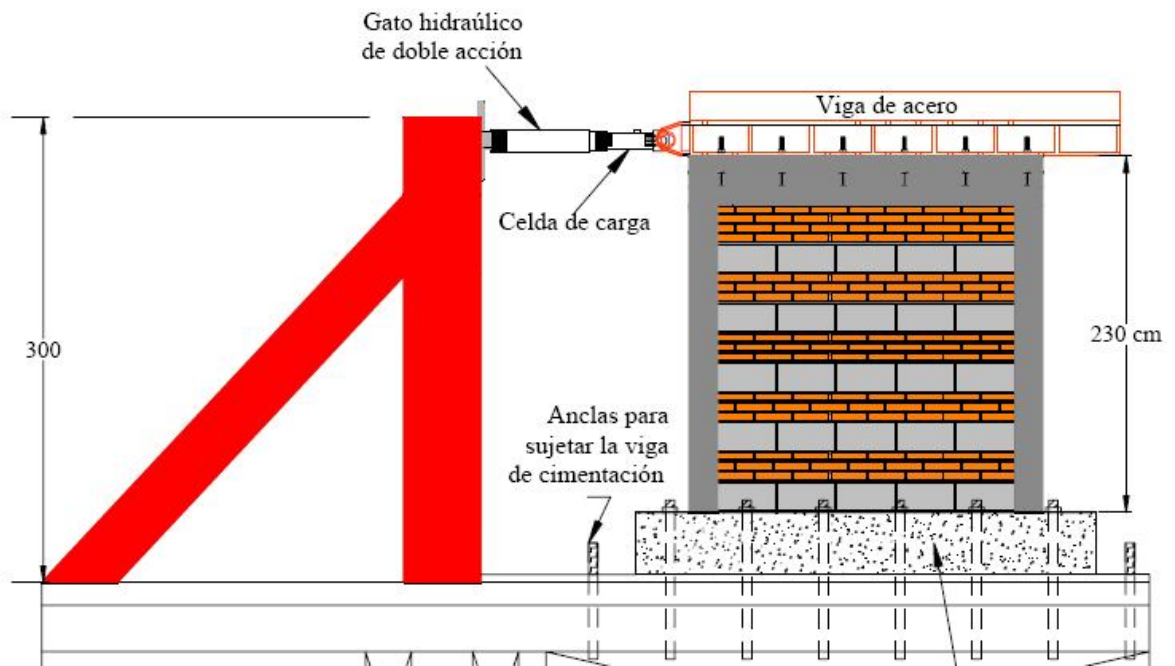
- Los ensayos se realizaron conforme al protocolo para ensayos cíclicos establecido en el Apéndice A de las Normas Técnicas para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCM-2004), por lo que los especímenes se sujetaron a ciclos repetidos, primero ante cargas dadas (hasta la carga de agrietamiento), y después a deformaciones (distorsiones angulares) dadas de manera creciente. [33]

#### ➤ **Equipo experimental e instrumentación**

- El simulador de sismos de la PUCP es una plataforma de 4.4 x 4.4 metros diseñada para moverse en una única dirección horizontal. Las especificaciones de máximo desplazamiento, velocidad y aceleración son de 150 mm, 500 mm/seg y 1 g, respectivamente. Es posible ensayar especímenes de hasta 160 KN de peso. El movimiento de la plataforma se controla a través de desplazamiento. La amplitud deseada del movimiento se especifica como una fracción del desplazamiento máximo de la plataforma. Por consiguiente, es factible usar la misma señal para simular eventos sísmicos de diferente intensidad, variando la amplitud del movimiento. La instrumentación consiste en transductores de desplazamiento (LVDT) y aceleración colocados en la plataforma y en lugares específicos de los módulos. [34]

- Para la aplicación de la carga vertical de compresión, así como la lateral, se contó con una viga de acero anclada en la losa. Para la aplicación de la carga horizontal se utilizó un gato hidráulico de doble acción de 20 ton, apoyado en la columna vertical del dispositivo de carga. El gato se controló con un sistema hidráulico, que aplicó la carga contra una viga de acero sujeta a lo largo de la dala-losa del muro; con ello, se proporcionó una carga horizontal distribuida a lo largo de la parte superior del muro. Asimismo, para ambos muros de prueba se aplicó carga vertical uniformemente repartida mediante el peso propio de la viga de acero y el peso de lingotes de acero que se colocaron sobre esta viga de carga.

**Figura 20. Dispositivo de carga, vista en elevación.**



Fuente: Resistencia y deformación de muros de mampostería de muros combinada y confinada sujetos a cargas laterales.

## 2. CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

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

Se pueden encontrar las diferentes granulometrías de los suelos seleccionados para llevar a cabo la fabricación de los adobes, ensayos de compresión simple para los adobes con sus diferentes mezclas y sus porcentajes establecidos de cada material (emulsión asfáltica, cal y fique), y para finalizar los ensayos realizados a los muros de adobes (no confinado y confiando), que permiten simular el comportamiento de estos ante una fuerza dinámica.

### 2.1. MATERIA PRIMA

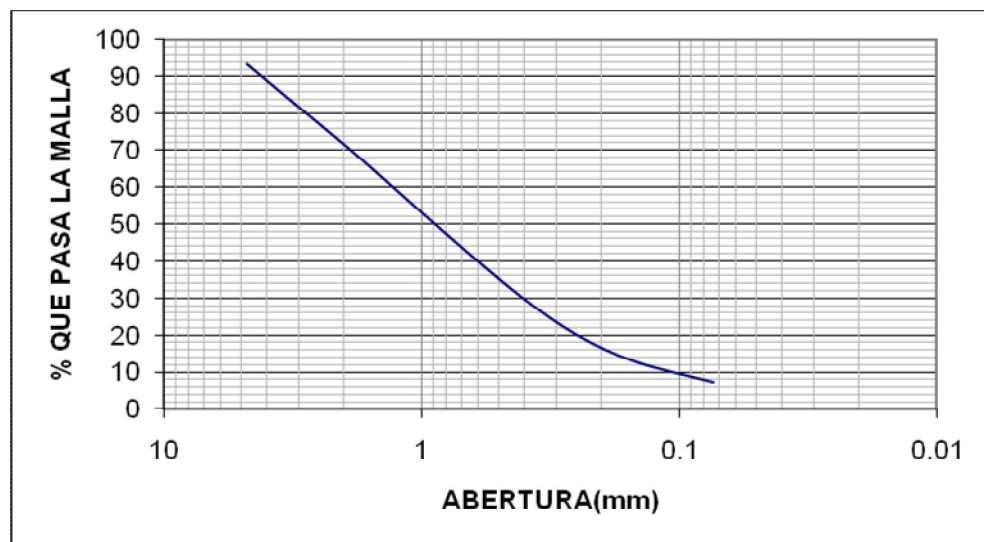
Se hicieron granulometrías en dos muestras de suelos para determinar cuál de estos suelos cumplía con las características para la fabricación de los ladrillos de adobe. Estas características se refieren a los porcentajes de arenas, limos y arcillas ideales para la fabricación de un adobe resistente, especificadas en el primer capítulo, donde los porcentajes más favorables se encuentran en rangos de la siguiente manera: Arena 55 a 80%, limos 10 a 28%, arcilla 15 a 18%.

En el anexo A se pueden encontrar las tablas con las que se realizaron las curvas granulométricas de los ensayos de los suelos.

### 2.1.1. Suelo de Piedecuesta 1

La muestra de este suelo fue recolectada de la ladrillera ubicada en la vía Bogotá Km 8, donde llega material de todas las obras que se estén realizando en este municipio. Se tomo como muestra 1047.5 gramos y se obtuvo la siguiente curva granulométrica y los siguientes resultados.

**Figura 21. Curva granulométrica suelo Piedecuesta 1**



Fuente: Los autores.

<b>GRAVAS (%)</b>	<b>6,65</b>
<b>ARENAS (%)</b>	<b>85,99</b>
<b>FINOS (%)</b>	<b>7,36</b>

Donde la cantidad de Limos es igual a lo retenido por el tamiz 200 y la cantidad de arcillas lo que pasa por el tamiz 200.

Porcentaje de limos

$$\frac{58.9 \text{ gramos} * 100\%}{1047.5 \text{ gramos}} = 5.62\%$$

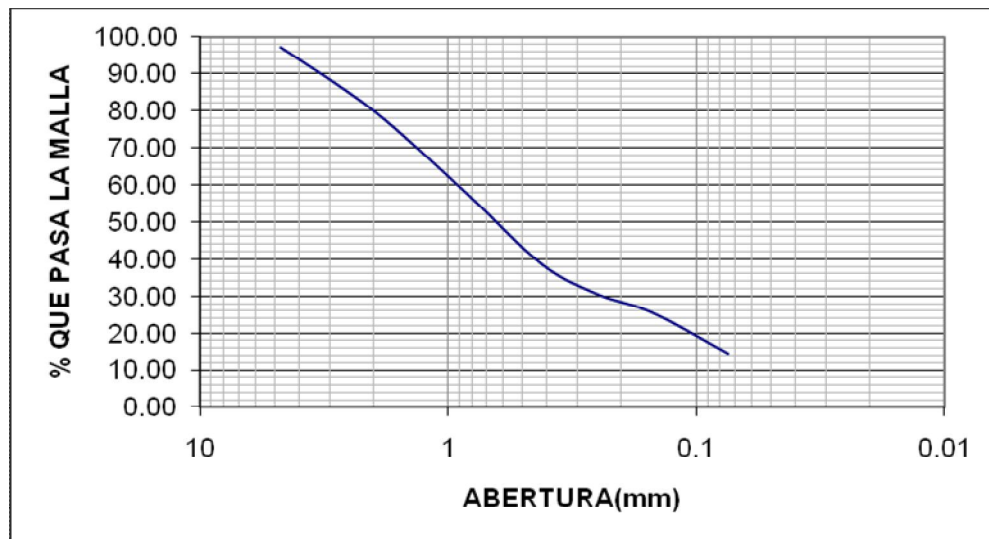
Porcentaje de arcillas

$$\frac{77.1 \text{ gramos} * 100\%}{1047.5 \text{ gramos}} = 7.36\%$$

### 2.1.2. Suelo de Piedecuesta 2

La muestra de este suelo fue recolectada de la ladrillera ubicada en la vía Bogotá Km 8, donde llega material de todas las obras que se estén realizando en este municipio. Se tomo como muestra 1230.4 gramos y se obtuvo la siguiente curva granulométrica y los siguientes resultados.

Figura 22. Curva granulométrica suelo Piedecuesta 2



Fuente: Los autores.

<b>GRAVAS (%)</b>	<b>2,70</b>
<b>ARENAS (%)</b>	<b>82,79</b>
<b>FINOS (%)</b>	<b>14,51</b>

Donde la cantidad de Limos es igual a lo retenido por el tamiz 200 y la cantidad de arcillas lo que pasa por el tamiz 200.

Porcentaje de limos

$$\frac{135,3\text{gramos} * 100\%}{1230,4\text{gramos}} = 10,99\%$$

Porcentaje de arcillas

$$\frac{178,5\text{gramos} * 100\%}{1230,4\text{gramos}} = 14,51\%$$

## 2.2. ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE A UNIDADES DE ADOBE

En esta etapa se realizaron ensayos de compresión simple a 5 unidades de cada una de las mezclas propuestas para un total de 25 unidades inducidas a la falla, que siendo una pequeña muestra representativa nos lleva a seleccionar la unidad que posea un comportamiento adecuado cuando se somete a fuerzas de compresión. Para llevar a cabo esto se utilizó la maquina universal de ensayos del laboratorio Álvaro Beltrán Pinzón.

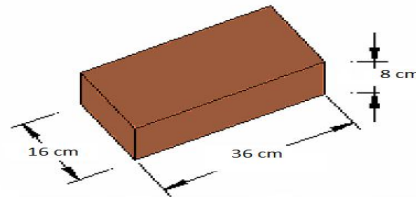
**Figura 23. Maquina Universal de Ensayos.**



Fuente: Los autores.

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 la unidad de adobe las siguientes dimensiones: 36 cm de largo, 16 cm de ancho y 8 cm de alto, que cumplen con las recomendaciones mencionadas, además que son dimensiones estándares de moldes para la elaboración de ladrillos cocidos en la ciudad de Bucaramanga.

**Figura 24. Dimensiones unidad de adobe.**

Fuente: Los autores.

Los porcentajes que se establecieron para las diferentes mezclas en la elaboración de los adobes, fueron tomados de recomendaciones hechas en trabajos de grado realizados con anterioridad, en los cuales se utilizaba cada uno de estos materiales en diferentes suelos y por separado cada material.

El porcentaje de emulsión asfáltica fue de 6% respecto al peso de la unidad de adobe. Este valor fue escogido por recomendación del trabajo de grado descrito y referenciado con anterioridad en el ítem 1.2.2.

El porcentaje de cal hidratada fue del 5% respecto al peso de la unidad de adobe. Este valor fue escogido por recomendación del trabajo de grado descrito y referenciado con anterioridad en el ítem 1.3.2.

El porcentaje fique escogido fue del 0.5% respecto al peso de la unidad de adobe y cortado a 1 centímetro de longitud aproximadamente, se escogieron estos valores por recomendaciones del trabajo de grado descrito y referenciado con anterioridad en el ítem 1.4.3. Este material se sometió a un tratamiento con cal apagada descrito con anterioridad en el ítem 1.4.2.

**Figura 25. Fique en proceso de tratamiento**



Fuente: Los autores.

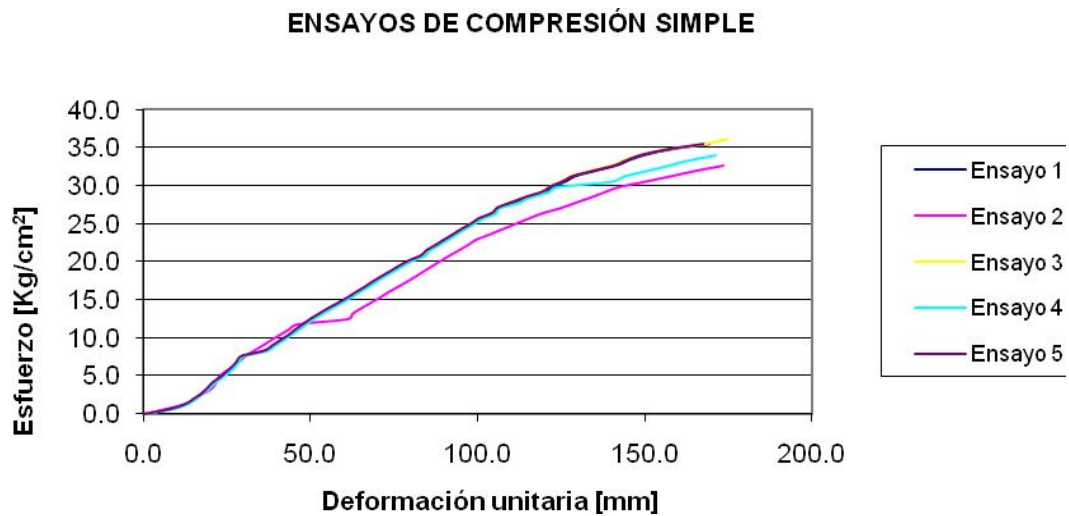
A continuación se podrán ver las graficas donde se muestran los 5 ensayos realizados para cada mezcla.

En el anexo B se podrán encontrar las tablas de dichas graficas.

### 2.2.1. Adobe modificado con emulsión asfáltica, cal y fique

	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>
<b>Peso promedio adobe</b>	7500	Gramos
<i>Cantidades suministradas de cada elemento</i>		
<b>Emulsión asfáltica</b>	450	Gramos
<b>Cal</b>	375	Gramos
<b>Fique</b>	37.5	Gramos

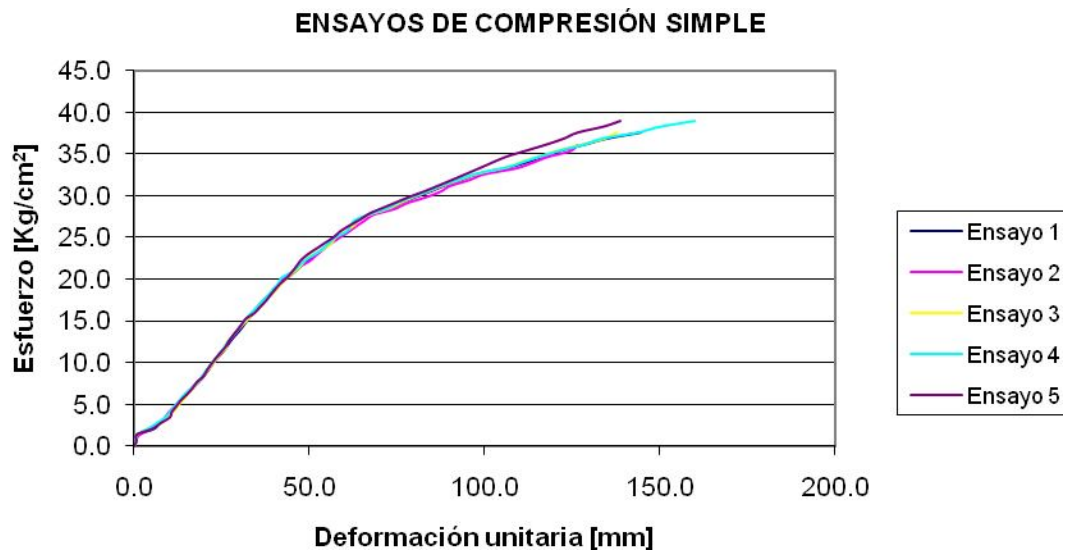
La siguiente grafica nos muestra los valores de esfuerzo vs deformación unitaria de los 5 ensayos a compresión simple realizados los adobes modificados con emulsión asfáltica, cal y fique.



### 2.2.2. Adobe modificado con emulsión asfáltica, y fique

	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>
<b>Peso promedio ADOBE</b>	7500	gramos
<i>Cantidades suministradas de cada elemento</i>		
<b>Emulsión asfáltica</b>	450	gramos
<b>Fique</b>	37.5	gramos

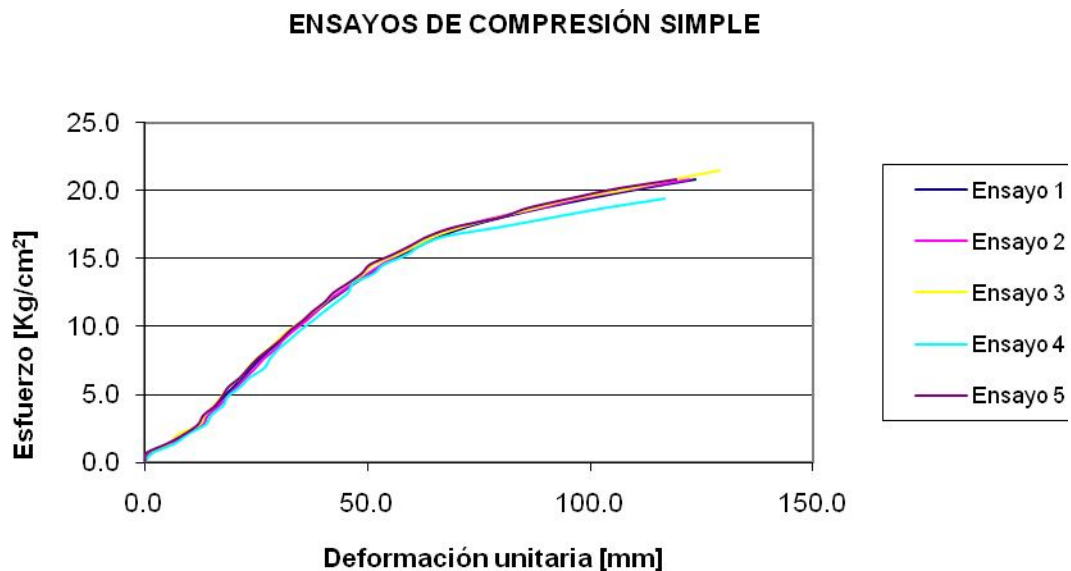
La siguiente grafica nos muestra los valores de esfuerzo vs deformación unitaria de los 5 ensayos a compresión simple realizados los adobes modificados con emulsión asfáltica y fique.



### 2.2.3. Adobe modificado con cal y fique

	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>
<b>Peso promedio ADOBE</b>	7500	gramos
<i>Cantidades suministradas de cada elemento</i>		
<b>Cal</b>	375	gramos
<b>Fique</b>	37.5	gramos

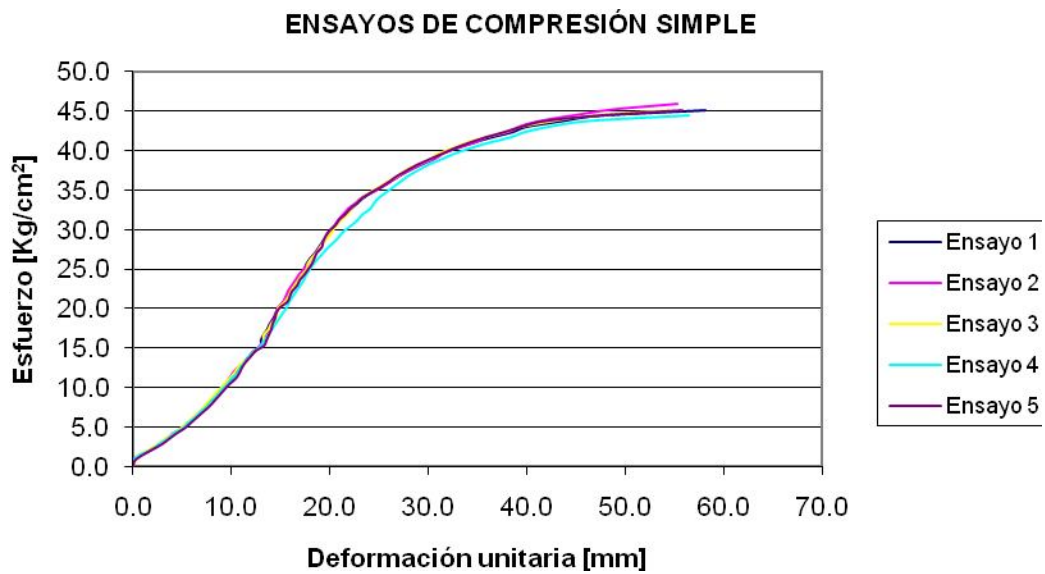
La siguiente grafica nos muestra los valores de esfuerzo vs deformación unitaria de los 5 ensayos a compresión simple realizados los adobes modificados con cal y fique.



### 2.2.4. Adobe modificado con fique

	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
<b>Peso promedio ADOBE</b>	7500	gramos
<i>Cantidades suministradas de cada elemento</i>		
<b>Fique</b>	37.5	gramos

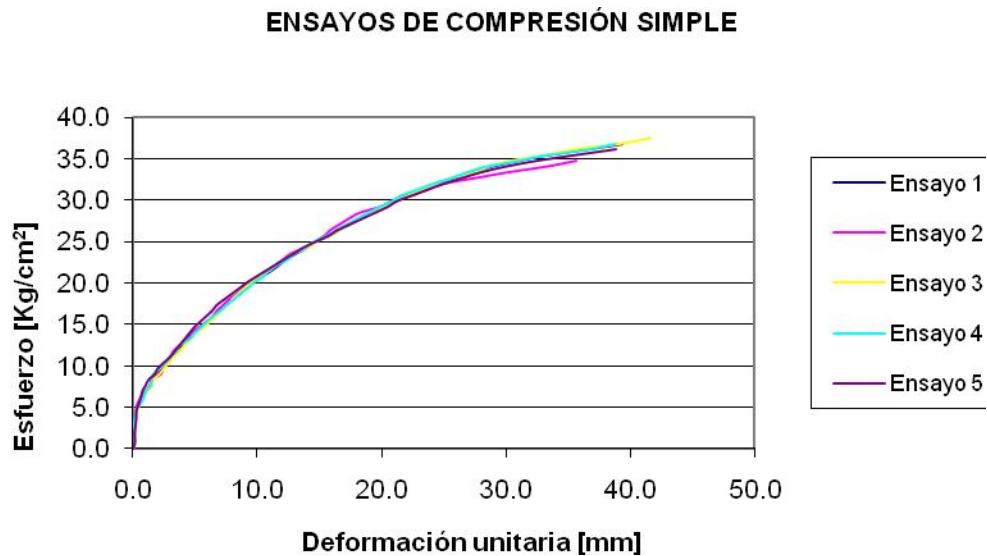
La siguiente grafica nos muestra los valores de esfuerzo vs deformación unitaria de los 5 ensayos a compresión simple realizados los adobes modificados con fique.



### 2.2.5. Adobe sin modificar

	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>
<b>Peso promedio ADOBE</b>	7500	gramos

La siguiente grafica nos muestra los valores de esfuerzo vs deformación unitaria de los 5 ensayos a compresión simple realizados los adobes sin modificar.



## 2.3. ENSAYO A MUROS DE ADOBE CON CARGA LATERAL CÍCLICA

Se construyeron 2 muros en Adobe modificado, con dimensiones de 2.2 metros de largo, 2.2 metros de alto y 16 cm de ancho, estos muros se construyeron sobre una viga de cimentación, para poder anclar el confinamiento en madera rolliza al muro 2 y para alcanzar la altura donde el gato hidráulico se ubicó para realizar los ensayos.

Los muros fueron sometidos a una carga horizontal aplicada por medio de un actuador hidráulico modelo 243 con capacidad de carga de hasta 35 toneladas, con el cual se pretendió simular el actuar de una fuerza dinámica, el ensayo consistió en aplicar carga lateral cíclica a los muros, controlando el desplazamiento horizontal de estos.

Se realizaron 11 fases de la siguiente manera:

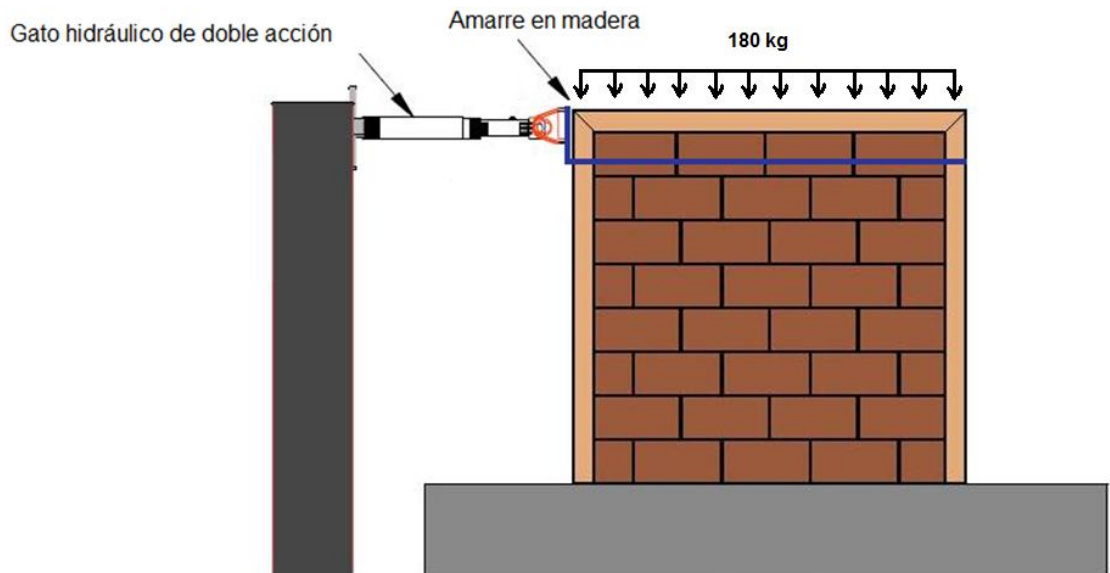
Fase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Desplazamiento[mm]	0.25	0.5	1.0	2.5	5.0	7.5	10	12.5	15	17.5	20

Para la elaboración de este protocolo de carga se tomaron las recomendaciones del documento resistencia y deformación de muros de mampostería combinada y confinada sujetos a cargas ([33]) y del documento comportamiento a carga lateral cíclica de muros de adobe confinados ([26]), que se basan en la norma mexicana Normas Técnicas para Diseño y Construcción de mampostería (NTCM- 2004), Apéndice A.

Se aplico una carga vertical de 180 kilogramos distribuida uniformemente en 9 bolsas de arena cada una con 20 kilogramos, con la que se pretendió simular la fuerza ejercida por una cubierta sobre cada muro.

Para la unión del actuador hidráulico con los muros, se implemento un amarre en madera y este apernado al gato hidráulico, que permitiera la transferencia de desplazamiento.

**Figura 26. Detalle montaje ensayo de muros.**



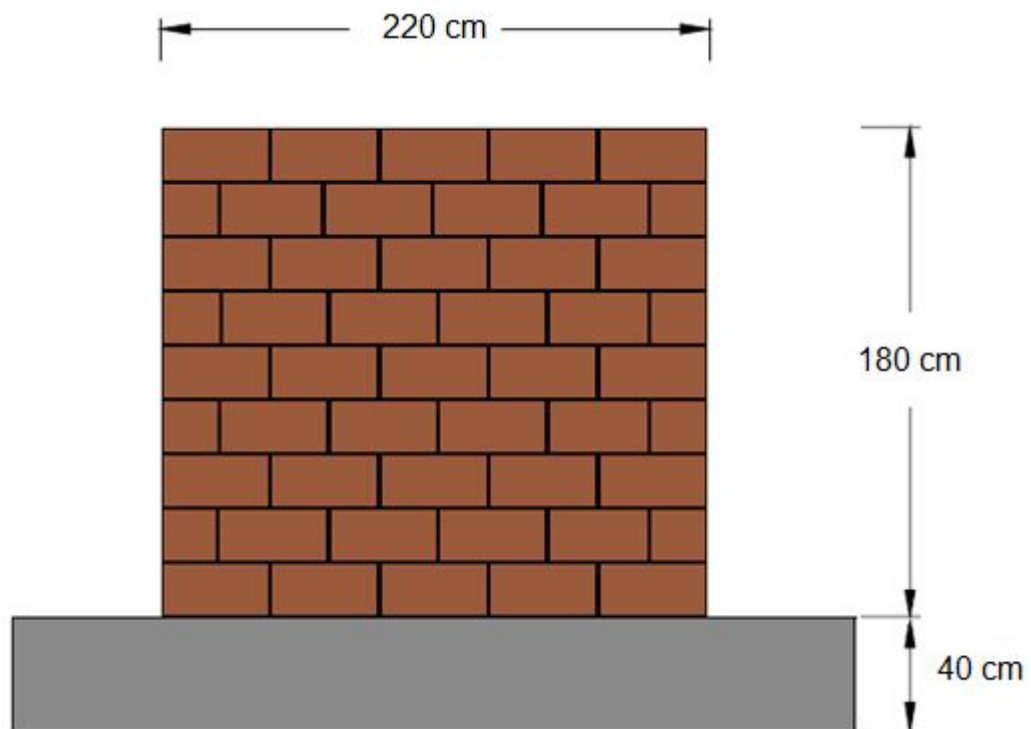
Fuente: Los autores.

### 2.3.1. Muro sin confinamiento

Este muro se realizo con 114 ladrillos de adobe modificado con fique, de los cuales se partieron a la mitad 18. En la construcción se adoptaron 6 ladrillos en la

primera hilada con una pega de mortero aproximadamente de 2 centímetros, seguida de una segunda hilada en donde en los extremos se colocaron 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 que se alcanzó la altura de 2.2 metros.

**Figura 27. Muro sin confinamiento.**



Fuente: Los autores.

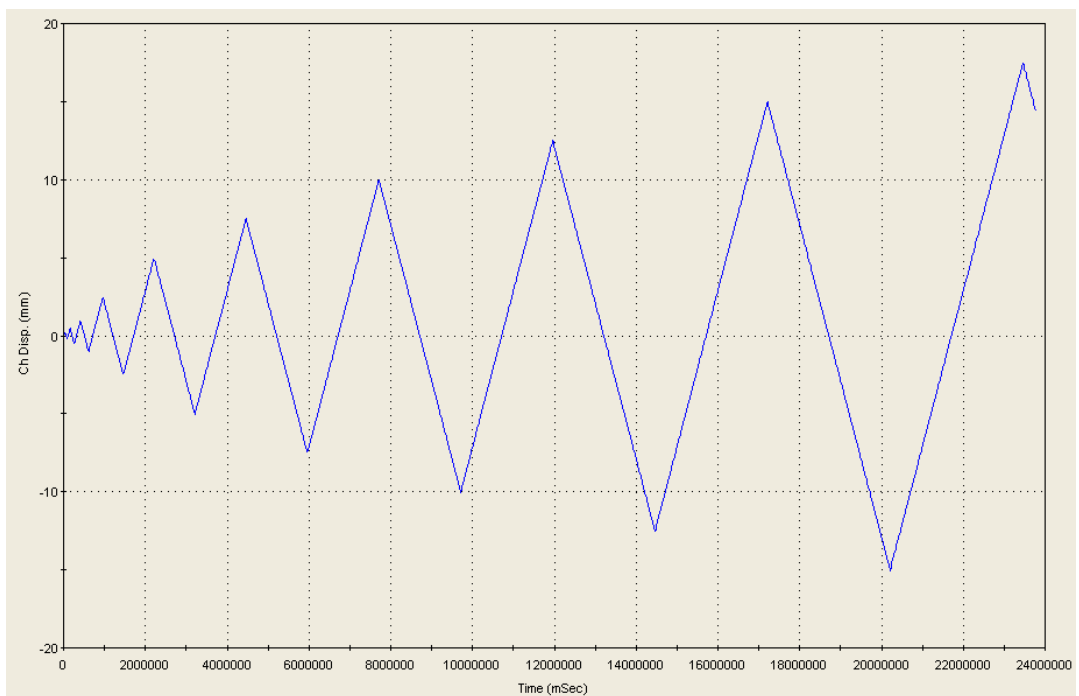
El ensayo tuvo una duración de 6 horas 38 minutos y proporciono las siguientes respuestas graficas.

### 2.3.1.1. Gráfica desplazamiento vs tiempo

Esta grafica muestra la respuesta del muro al aplicar los desplazamientos indicados en el protocolo de carga respecto al tiempo gastado.

El eje de las abscisas indican el tiempo transcurrido del ensayo en Seg y el eje de las ordenadas indican el desplazamiento del muro en mm.

**Figura 28. Gráfica desplazamiento vs. tiempo.**



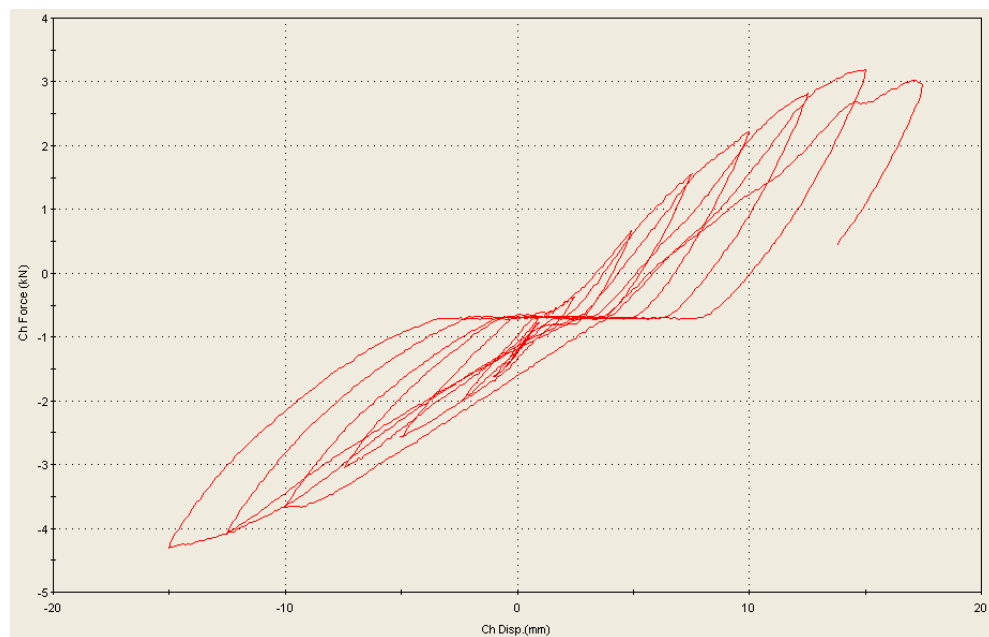
Fuente: Actuador hidráulico 243

### 2.3.1.2. Gráfica fuerza vs desplazamiento

Esta grafica muestra la respuesta del muro al aplicar los desplazamientos indicados en el protocolo de carga respecto a la fuerza aplicada.

El eje de las abscisas indican el desplazamiento del muro en mm y el eje de las ordenadas indican la fuerza ejercida para desplazar el muro en KN.

**Figura 29. Gráfica fuerza vs. desplazamiento.**



Fuente: Actuador hidráulico 243

### **2.3.2. Muro con confinamiento de madera rolliza**

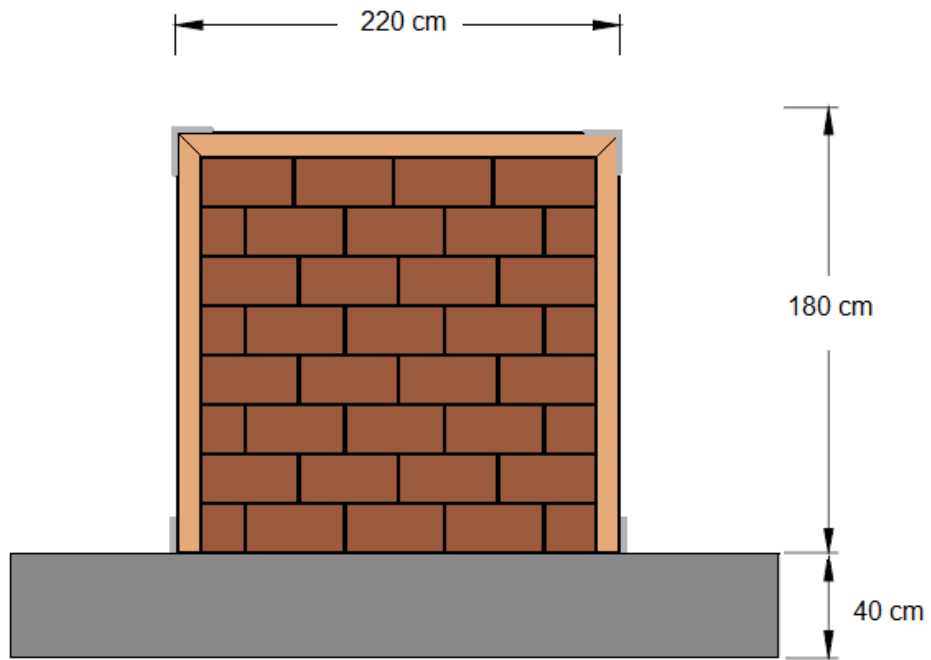
Este muro se realizo con 94 ladrillos de adobe modificado con fique, de los cuales se partieron a la mitad 9. En la construcción se adoptaron 5 ladrillos completos y una partido por la mitad en la primera hilada con una pega de mortero aproximadamente de 2 centímetros, seguida de una segunda hilada igual pero comenzando la hilada con el ladrillo partido 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 que se alcanzo la altura de 1.72 metros.

Se confino el muro con 6 maderas rollizas de diámetro 8 centímetros. Para las columnas se utilizaron 4 maderas de 180 centímetros y para las vigas 2 maderas de 220 centímetros. La unión de las maderas a la viga de cimentación se realizo mediante dos platinas rectangulares de dimensiones 120 milímetros de alto, 160 milímetros de largo y 6.0 milímetros de ancho.

La unión de las maderas se realizo cortándolas a 45° en los extremos donde se encuentran la columna con la viga y mediante dos platinas angulares a 90°, donde las dimensiones de cada cara de la platina son de 160 milímetros de alto, 160 milímetros de largo y 3.0 milímetros de ancho.

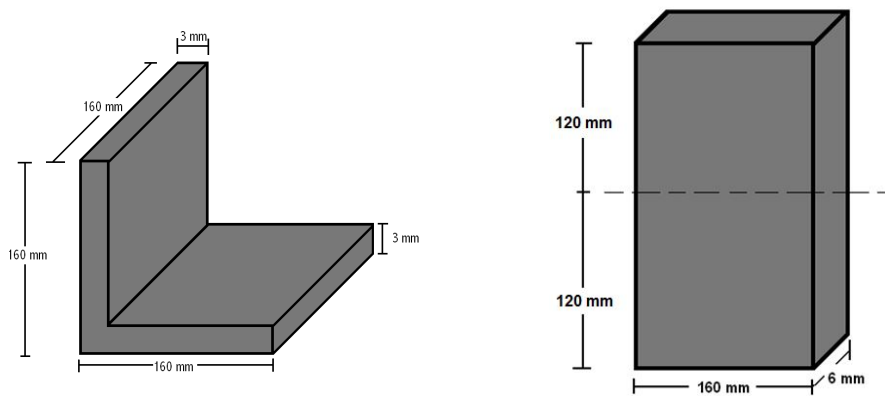
El confinamiento consta de dos marcos, anclados a las platinas, para lograr el espesor del muro de 16 centímetros.

Figura 30. Muro con confinamiento.



Fuente: Los autores.

Figura 31. Detalle platinas de conexión.



Fuente: Los autores.

➤ **Diseño de la conexión angular**

	<b>Pulgadas</b>	<b>Milímetros</b>
<b>Diámetro del perno</b>	3/8	9,53
<b>Diámetro del orificio</b>		12,00

<b>Perfil L 3x160</b>		
<b>Área [Ag]</b>	951	mm <sup>2</sup>
<b>X=Y</b>	41,12	mm

Se escogieron dos platinas en formal de “L” que resistieran una carga de  $P_u=180$  KN, muy alta respecto a los resultados obtenidos en el muro sin confinamiento, garantizando así su buen desempeño en la unión de las columnas con la viga, para conformar el confinamiento de madera Teca del muro de adobe.

- Se verificó que:

$$\Phi P_n = 0,9 \cdot A_g \cdot F_y$$

Donde:

$$F_y = 253 \text{ Mpa}$$

$$A_g = \text{Área del perfil} = 951 \text{ mm}^2$$

$$\Phi P_n = 216.54 \text{ KN}$$

$$216.54 \text{ KN} > 180 \text{ KN} \quad \text{OK.}$$

- Para comprobar el número de pernos se verificó lo siguiente:

$$\Phi P_n = \Phi_t \cdot A_e \cdot F_u$$

Donde:

$$\Phi_t = 0.75$$

$$F_u = 408 \text{ Mpa}$$

$$A_n = \text{Área neta del perfil} = A_g - \# \text{pernos} \cdot \text{diámetro hueco} \cdot \text{espesor}$$

$$A_n = 951 - 4 \cdot 12 \cdot 3 = 807 \text{ mm}^2$$

$$A_e = \text{Área efectiva} = \left(1 - \frac{\bar{x}}{L}\right) * A_n$$

$$\text{Donde: } \left(1 - \frac{\bar{X}}{L}\right) \leq 0.9 = \left(1 - \frac{41.12}{160}\right) = 0.743 \quad \text{OK.}$$

$$A_e = 0.74 * 807 = 599.6 \text{ mm}^2$$

$$\Phi P_n = 0.75 * 0.743 * 408 = 183.47 \text{ KN} > 180 \text{ KN} \quad \text{OK.}$$

- Separación y distancias mínimas entre pernos.

La separación mínima al borde para conexión apernada es  $1.25 * d_b$ , siendo  $d_b$  el diámetro del hueco del perno.

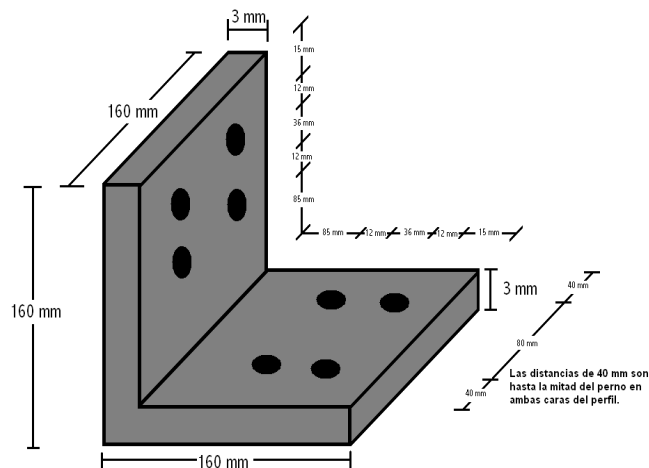
$$1.5 * 12 = 15 \text{ mm.}$$

La separación mínima entre pernos es  $3 * d_b$ .

$$3 * 12 = 36 \text{ mm.}$$

Se tomaron las distancias mínimas permisibles, ya que la unión de las maderas va ser a  $45^\circ$ , lo que implica tener una distancia considerable donde se realizó este corte, para la unión del confinamiento.

**Figura 32. Detalle diseño platina angular**



Fuente: Los autores.

### ➤ Diseño de la conexión rectangular

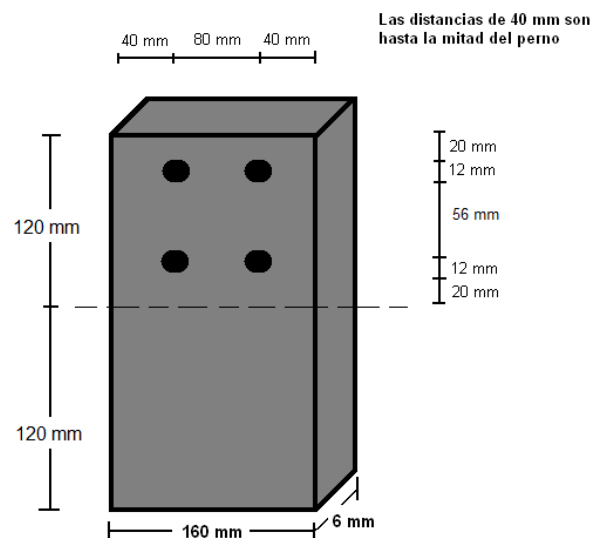
Se escogieron dos platinas rectangulares que resistieran una carga  $P_u=180\text{KN}$ , muy alta respecto a lo que resiste un muro en adobe normal, ya que necesariamente tenían que estar ancladas en la fundida de la viga de cimentación utilizada para el ensayo de los dos.

Estas platinas fueron ubicadas a 2.2 metros de distancia entre sí, y con una distancia visible de 12 cm de altura.

Se tuvieron en cuenta las mismas distancias y separaciones mínimas para la ubicación de los pernos que las utilizadas en los perfiles “L”.

Se consideró en estas platinas un espesor del doble, ya que están ancladas a la viga de concreto, además del peso ejercido por las maderas.

**Figura 33. Detalle diseño platina rectangular**



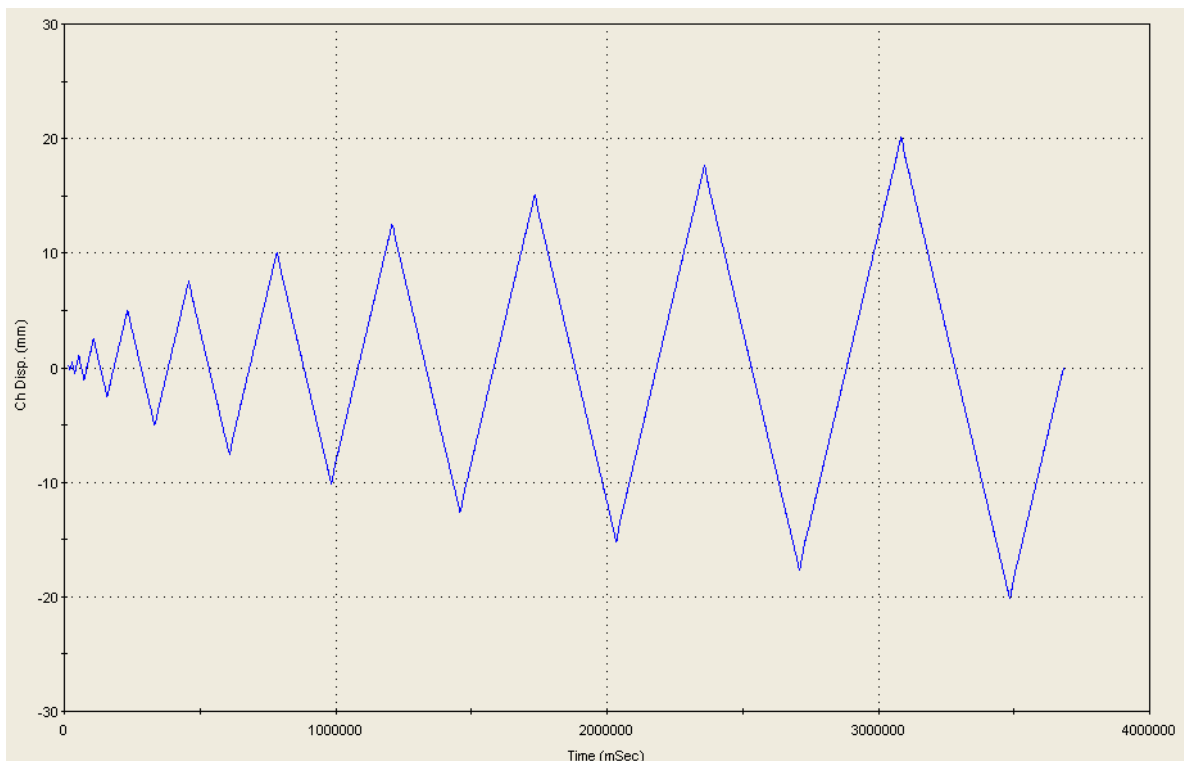
Fuente: Los autores.

### 2.3.2.1. Gráfica desplazamiento vs tiempo

Esta grafica muestra la respuesta del muro al aplicar los desplazamientos indicados en el protocolo de carga respecto al tiempo gastado.

El eje de las abscisas indican el tiempo transcurrido del ensayo en Seg y el eje de las ordenadas indican el desplazamiento del muro en mm.

**Figura 34. Gráfica desplazamiento vs. tiempo.**



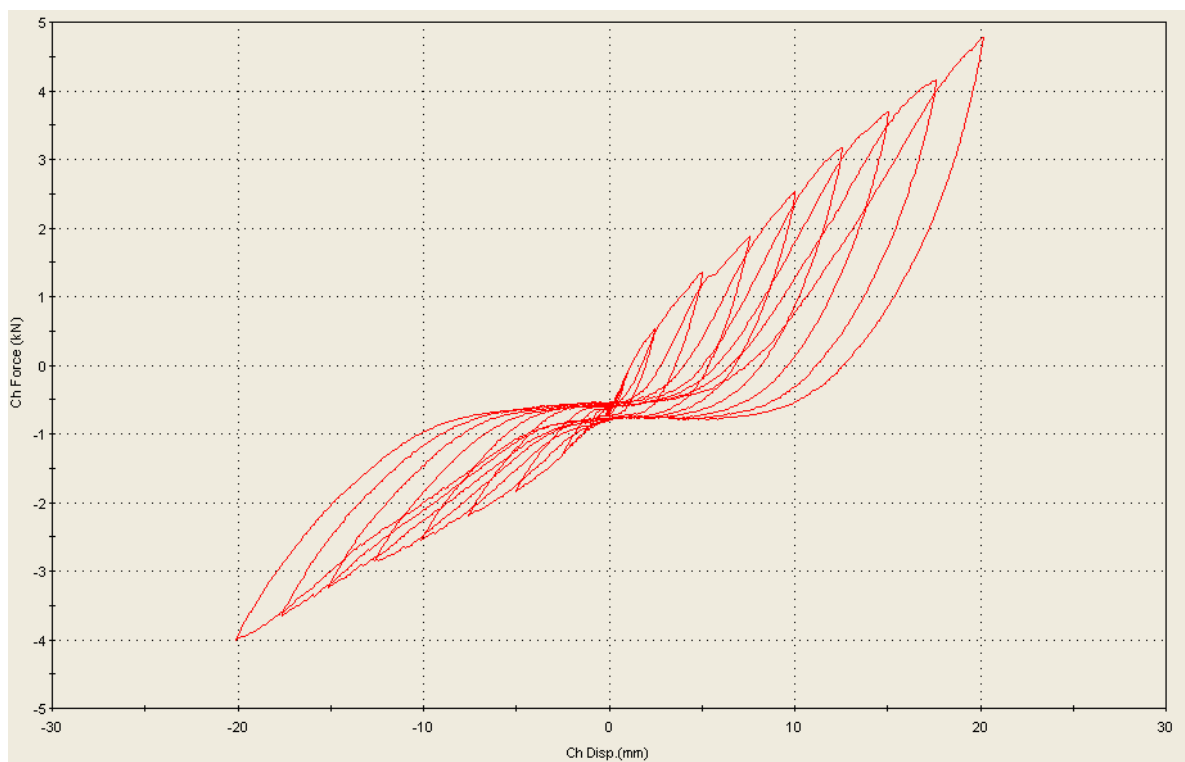
Fuente: Actuador hidráulico 243

### 2.3.2.2. Gráfica fuerza vs desplazamiento

Esta grafica muestra la respuesta del muro al aplicar los desplazamientos indicados en el protocolo de carga respecto a la fuerza aplicada.

El eje de las abscisas indican el desplazamiento del muro en mm y el eje de las ordenadas indican la fuerza ejercida para desplazar el muro en KN.

**Figura 35. Gráfica fuerza vs. desplazamiento.**



Fuente: Actuador hidráulico 243

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

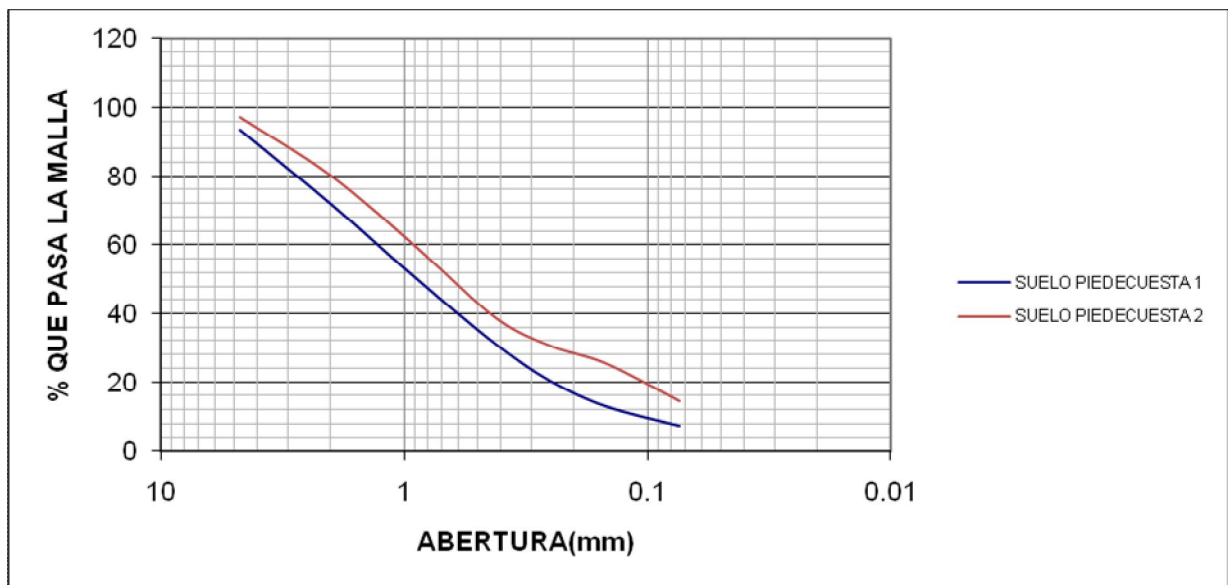
#### 3.1. MATERIA PRIMA

Se analizaron 2 suelos con características físicas que aparentemente cumplían con las especificaciones referenciadas anteriormente en el capítulo 1. Al realizar este análisis con granulometrías se pudo detallar los valores reales de los porcentajes de arenas y arcillas que contiene cada muestra. A partir de esto se pudo concluir que el suelo más apto para la elaboración de unidades de adobe es el de Piedecuesta 2 ya que nos muestran resultados acordes a los rangos especificados, aunque el de arenas no cumple por 2.79%, hay que tener en cuenta que la muestra es solo una pequeña parte representativa, y estos porcentajes pueden variar en la fabricación de los adobes, ya que el material necesario para la fabricación de un adobe es aproximadamente de 7500 gramos. Es importante recalcar que es necesario que se mantenga esta relación de porcentajes en toda la muestra.

Los resultados del suelo Piedecuesta 1 muestran rangos inaceptables para la fabricación de adobes, por lo cual este suelo no fue apto, y no se utilizó para la elaboración de las unidades de adobe.

En la siguiente gráfica se pueden observar las curvas granulométricas de los suelos analizados, y aunque su tendencia es parecida los resultados nos muestran que los porcentajes de arenas y arcillas son considerablemente diferentes.

Figura 36. Curvas granulométricas.



Fuente: Los autores.

## 3.2. COMPRESIÓN SIMPLE A UNIDADES DE ADOBE

### ➤ Adobe modificado con emulsión asfáltica, cal y fique

En los resultados obtenidos en los ensayos realizados a las 5 unidades que estaban compuestas por los porcentajes que se muestran en la tabla, se observa que una unidad de Adobe modificado con estas características, soportan una carga promedio a compresión de 20.000 kg, que nos representa un esfuerzo a la compresión de 34.7 kg/cm<sup>2</sup>.

Aunque presentan una buena resistencia, tienen como inconveniente su alta deformabilidad, cuando se someten a cargas de compresión las unidades de

Adobe modificado con estos materiales, pero se debe poner a consideración que cuando se llevan a el punto de falla esta no es súbita, si no que se comporta de forma dúctil, por otra parte la facilidad para su movilidad por el bajo peso que tienen comparado con unidades de Adobe sin modificar, el cual es de aproximadamente del 14%, puede tener como ventajas estructuras más livianas. Esta mezcla se descarto debido a que la resistencia que presento es menor a la de una Adobe sin modificar.

La siguiente grafica nos muestra los 5 ensayos realizados a esta mezcla, dejándonos ver que los resultados son confiables, ya que su tendencia es similar.

➤ **Adobe modificado con emulsión asfáltica, y fique**

Los resultados obtenidos muestra una pequeña mejora en la resistencia a compresión comparada con la anterior y a la que presenta la unidad de Adobe sin modificar, en esta oportunidad se presenta una resistencia promedio a la compresión de 21.700 kg, lo que nos indica un esfuerzo a la compresión de 37.78 kg/cm<sup>2</sup>, pero al igual que la mezcla anterior esta también presenta el gran inconveniente ante las deformaciones que se observan cuando se somete a cargas de compresión.

Esta mezcla se desprecia ya que aunque muestra un aumento en su la resistencia a la compresión, esta no es muy significativa que se aumenta solo en un 3.5% aproximadamente.

La siguiente grafica nos muestra los 5 ensayos realizados a esta mezcla, dejándonos ver que los resultados son confiables, ya que su tendencia es similar.

➤ **Adobe modificado con cal y fique**

Los resultados obtenidos con las 5 muestras de esta mezcla, reflejan una baja considerable en la resistencia de las unidades de Adobe modificados con estos materiales dando como valor promedio una resistencia a la compresión de 11.920 kg y un esfuerzo a compresión de 20.52 kg/cm<sup>2</sup>, que representa un 43% por debajo de los valores obtenidos en las muestras de Adobes sin modificar.

Por lo tanto esta mezcla es rechazada.

La siguiente grafica nos muestra los 5 ensayos realizados a esta mezcla, dejándonos ver que los resultados son confiables, ya que su tendencia es similar.

➤ **Adobe modificado con fique.**

Por los resultados obtenidos con las unidades de Adobe modificadas con estos materiales, se define que es la mezcla óptima para la fabricación de las unidades de Adobe para ejecución de este trabajo de grado, ya que muestra el mejor comportamiento frente a esfuerzos y deformaciones comparado con las otras mezclas y con un adobe sin modificar. Teniendo como resultados una resistencia promedio de 26.000 kg y un esfuerzo a la compresión promedio de 45.1 kg/cm<sup>2</sup>.

Esto muestra un aumento aproximado del 24.5% en la resistencia a la compresión que presenta una unidad de Adobe sin modificar.

La siguiente grafica nos muestra los 5 ensayos realizados a esta mezcla, dejándonos ver que los resultados son confiables, ya que su tendencia es similar.

### ➤ **Adobe sin modificar**

Los ensayos realizados a los adobes sin modificar fueron con el fin de poder saber la resistencia a la compresión simple promedio de un adobe normal fabricado con el suelo escogido (Piedecuesta 2), y así poder compararla con las resistencias de los adobes en general y las diferentes mezclas realizadas para este proyecto.

El esfuerzo promedio de estos adobes respecto a los 5 ensayos fue de 36.38 Kg/cm<sup>2</sup>, lo que indica un valor alto respecto al valor mínimo aceptado especificado en el capítulo 1 igual a 12 Kg/cm<sup>2</sup>.

La siguiente grafica nos muestra los 5 ensayos realizados a esta mezcla, dejándonos ver que los resultados son confiables, ya que su tendencia es similar.

## **3.3. MUROS DE ADOBE CON CARGA LATERAL CÍCLICA**

### ➤ **Muro sin confinamiento**

El ensayo de carga cíclica en el muro fue físicamente notorio con las primeras grietas en la fase 5, con agrietamientos notorios alrededor del amarre en madera que se le hizo al muro para que se adaptase al gato hidráulico. Con el transcurso del tiempo las grietas empezaron a hacerse más notorias y empezaron a tener una tendencia que marcaba una fractura a 45° por cada esquina superior del muro. Sin embargo en la fase 9, cuando el gato hidráulico aplicaba un desplazamiento final de 15 milímetros, una de estas grietas se prolongo y no continuó su trayectoria de

45°, lo que provocó una grieta de lado a lado, alrededor de amarre del gato hidráulico. En ese momento la fuerza aplicada fue de 4.25 KN aproximadamente.

Es necesario advertir que el laboratorio Álvaro Beltrán Pinzón, cuenta con el gato hidráulico, pero no con los elementos necesario para adaptarlo a los elementos que se quieran usar con éste. El amarre realizado se fabrico con indicaciones del director del proyecto y se descartaron otros más eficientes por economía.

De la grafica de FUERZA VS DESPLAZAMIENTO, se tiene que la carga máxima aplicada que se registro fue 4.5 KN. La grafica no muestra simetría y muestra más esfuerzos cuando el gato aplica la fuerza en sentido negativo, esto se debe posiblemente a que el amarre del gato al muro, con el transcurso del ensayo no conserva su horizontalidad, y esta inclinación produce una mayor distancia de transferencia de carga en una dirección.

De la grafica de DESPLAZAMIENTO VS TIEMPO, se tiene un desplazamiento máximo de 17.5 milímetros en un tiempo de 6 horas 38 minutos, ya que el ensayo prosiguió después de la falla del muro para verla mejor. El tiempo real cuando el muro mostro su fractura fue aproximadamente de 6 horas.

**Figura 37. Falla agrietamiento muro sin confinamiento**



Fuente: Los autores.

#### ➤ **Muro con confinamiento**

Al iniciar el ensayo al muro con confinamiento, se modifico la velocidad de aplicación de los desplazamientos, para disminuir el tiempo utilizado, ya que en el primer ensayo el tiempo fue muy largo, y no es indispensable velocidades tan lentas.

El ensayo realizo sus 11 fases satisfactoriamente aplicando un desplazamiento total de 20 milímetros, sin afectar significativamente la estabilidad del muro, escasamente aparecieron pequeñas grietas en las esquinas superiores de éste. Con el fin de determinar el desplazamiento máximo que soportaría este muro, se empezó a aplicar desplazamientos mayores hasta hacer fallar la estructura.

Esto sucedió aproximadamente a los 47 milímetros, con una fuerza de 6 KN, y se noto físicamente en el muro con dos grietas a 45° en toda una diagonal del muro, al intentar aplicar este desplazamiento en sentido negativo, para conseguir la falla

en la otra diagonal del muro, el amarre del muro al gato hidráulico fallo, y no soporto toda esta carga.

De la grafica de FUERZA VS DESPLAZAMIENTO, se tiene que la carga máxima aplicada que se registro fue 4.8 KN. La grafica no muestra simetría y muestra más esfuerzos cuando el gato aplica la fuerza en sentido negativo, esto se debe posiblemente a que el amarre del gato al muro, con el transcurso del ensayo no conserva su horizontalidad, y esta inclinación produce una mayor distancia de transferencia de carga en una dirección.

De la grafica de DESPLAZAMIENTO VS TIEMPO, se tiene un desplazamiento máximo de 20 milímetros en un tiempo de 1 horas, recordado que el muro no mostro fracturas y se mantuvo estable.

**Figura 38. Falla agrietamiento muro con confinamiento**



Fuente: Los autores.

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Al tener una mezcla de emulsión asfáltica, fique, y cal, para mejorar las condiciones del ladrillo de Adobe, la resistencia a compresión que presenta un bloque de Adobe sin modificar es mayor que la resistencia del bloque que contiene los diferentes porcentajes de emulsión, fique y cal.
- De los materiales utilizados para la modificación del Adobe el fique es el que mayor ventajas presenta, ya que mejora la resistencia a la compresión simple de una unidad de ladrillo de Adobe en un 25% aproximadamente, utilizando una cantidad de fique 0.5%, respecto al peso del bloque de Adobe.
- No es aconsejable la utilización de cal hidratada como material para modificar los ladrillos de Adobe, ya que presenta una baja representativa en la resistencia a compresión de la unidad de aproximadamente el 46%, comparada con la resistencia presentada en un bloque modificado con fique.
- En la mezclas para Adobe modificado, donde se utilizó la emulsión asfáltica (mezcla 1 y mezcla 2), las deformaciones crecen rápidamente y su último valor es más alto que la de las demás mezclas, pero referente a la carga que soporta, es más baja comparada con otros ensayos (mezcla 4), lo que indica que el Adobe modificado sufre aplastamiento.
- Aunque la emulsión asfáltica mejora la resistencia mecánica del suelo y aporta una cohesión suplementaria, no es aconsejable la utilización de este material para modificar los ladrillos de Adobe, ya que su efectividad

depende de la cantidad de las partículas más finas (arcillas y limos), y un suelo recomendable para fabricación de Adobe no debe exceder el 20% de este material, por esto la modificación de Adobe con este material no se justifica. Además su costo es muy alto, respecto al sistema constructivo que se pretende emplear.

- Aplicar el fique en la fabricación de Adobe como material que mejora sus respuestas ante un evento sísmico es una opción muy viable económicamente, ya que el costo de un 1 bulto de fique es \$27.000 pesos, con el cual se puede fabricar aproximadamente 333 ladrillos modificados con el porcentaje especificado (0.5% porcentaje en peso), que nos darían un incremento de precio de unidad de ladrillo de \$81.08 pesos.
- Aplicar un confinamiento en madera rolliza teca mejora la resistencia ante cargas laterales significativamente, lo cual se puede evidenciar en los ensayos realizados donde un muro sin confinamiento permitió un desplazamiento máximo de 15 milímetros y uno con confinamiento permitió un desplazamiento de 47 milímetros, lo que incrementa en un 200% su resistencia antes de presentarse la primera falla de agrietamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- [ 1 ] Díaz y Ríos; Alternativas de rehabilitación de adobe y tapia pisada, Universidad de los Andes, Santafé de Bogotá D.C.
  
- [ 2 ] 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, Santafé de Bogotá D.C.
  
- [ 3 ] Ramírez Padilla Arellys; Tapia pisada.
  
- [ 4 ] Rodríguez, Fonseca y Yamín; Comportamiento sísmico y alternativas de rehabilitación de edificaciones en adobe y tapia pisada con base en modelos a escala reducida ensayados en mesa vibratoria, Universidad de los Andes. Santafé de Bogotá D.C.
  
- [ 5 ] Asociación colombiana de ingeniería sísmica; Manual de evaluación, rehabilitación y refuerzo de viviendas de bahareques tradicionales construidas con anterioridad a la vigencia del decreto 052 de 2002, Fondo para la construcción y desarrollo social del eje cafetero, Santafé de Bogotá D.C.
  
- [ 6 ] Tique, Yamín y Reyes; Comportamiento sísmico de muros de mampostería con refuerzo exterior estudiados en modelos a escala

en mesa vibratoria, Universidad de los Andes. Santafé de Bogotá D.C.

- [ 7 ] Alcaldía mayor de Bogotá; Anexo 3. Catálogo de patologías en otros materiales, Fondo de prevención y atención de emergencias, Santafé de Bogotá D.C.
  
- [ 8 ] Norma técnica de edificaciones, NTE-80 ADOBE.
  
- [ 9 ] Gutiérrez, Manco, Loaiza y Blondet; Características sísmicas de las construcciones de tierra en el Perú, Capítulo de ingeniería civil del consejo departamental del colegio de ingenieros del Perú.
  
- [ 10 ] Gernot Minke; Manual de construcción para viviendas antisísmicas en tierra; Forschungslabor für experimentelles bauen, Universidad de Kassel, Alemania.
  
- [ 11 ] López Pérez Cecilia; Rastros y rostros de las construcciones en tierra cruda.
  
- [ 12 ] Zegarra Ciquero, Quiun Wong y San Bartolomé; Técnicas para el reforzamiento sísmico de viviendas de adobe, Pontificia universidad católica del Perú.



- [ 13 ] De Porres Martín; Construyendo casas en adobe resistente, Fondo editorial predes.
- [ 14 ] Zegarra Ciquero, Quiun Wong y San Bartolomé; Manual técnico para el reforzamiento en la costa y la sierra, Pontificia universidad católica del Perú, 1997.
- [ 15 ] Blondet, Villa García y Loiza; Viviendas sismo resistentes de tierra, Capítulo de ingeniería civil del consejo departamental del colegio de ingenieros del Perú.
- [ 16 ] Gonçalves Silva, Robador y González; Tierra y cal, Instituto universitario de ciencias de la construcción, Escuela técnica superior de arquitectura de Sevilla, España.
- [ 17 ] De Schiller y Evans; Construcción con tierra, Centro de investigación habitar y energía-cihe-si-fadu-uba, Primera edición, Buenos Aires, Argentina, 2007.
- [ 18 ] Cortés Puentes Wilmar Leonardo; Desarrollo de una metodología para la evaluación sismorresistente de edificaciones antiguas en tapia pisada y adobe, Proyecto de Grado, Universidad Industrial de Santander, 2002.



- [ 19 ] Pimiento Ardila y Sánchez Santos; Factibilidad de la utilización del suelo estabilizado con emulsión asfáltica en la fabricación de un elemento de mampostería (Bloque prensado y Adobe), Proyecto de grado, Universidad Industrial de Santander, 1997.
- [ 20 ] Julio Cesar Ramírez Gómez, Manual básico de emulsión asfáltica, Universidad Industrial de Santander, 1993.
- [ 21 ] Muñoz Tarazona Laura María; Posible utilización de la fibra de fique para el mejoramiento de suelos, Proyecto de grado, Universidad Industrial de Santander, 2000.
- [ 22 ] Simbaña Villarreal Andrés; Fibras naturales. Alternativas para el desarrollo nacional, Coordinador de Investigación y Desarrollo ECAA/PUCE-I.
- [ 23 ] Ulloa González Jorge Enrique; Esfuerzos de trabajo para diferentes maderas Colombianas, Proyecto de grado, Universidad Industrial de Santander, 1978.
- [ 24 ] Padilla Vargas y Ramírez Solando; Utilización de la fibra de fique como agregado en la fabricación de productos aglomerados, Proyecto de grado, Universidad Industrial de Santander, 1999.



- [ 25 ] Yamín Lacouture, Luis Eduardo, Phillips Bernal Camilo, Reyes Ortiz Juan Carlos, Ruiz Valencia Daniel; Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas de adobe y tapia pisada; Proyecto de investigación realizado por el centro de investigación en materiales y obras civiles, de la universidad de los Andes.
- [ 26 ] San Bartolomé Angel y Pehovaz Richard, Comportamiento a carga lateral cíclica de muros de adobe confinados, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [ 27 ] Chávez Eladio y Fonseca William; L.f. Especie de árbol de uso múltiple en América Central.
- [ 28 ] Peniche Camacho Luis Alfonso; La construcción con madera.
- [ 29 ] Departamento de Montes, Depósito de documentos de la FAO; La madera: Tendencias y perspectivas mundiales.
- [ 30 ] Morales Morales Roberto, Torres Cabrejos Rafael, Rengifo Luis, Irala Candiotti Carlos; Manual para la construcción de viviendas de adobe, LIMA, PERU, 1993.



- [ 31 ] Daquinta, Ramos, Capote, Lezcano, Rodríguez, Escalona; Morfogénesis in Vitro de Teca (Tectona Grandis L.), Laboratorio de cultivo de células y tejidos, Universidad de Ciego de Ávila, Cuba.
- [ 32 ] Corporación Chilena de la Madera, Manual para la construcción de viviendas en madera.
- [ 33 ] Tena Colunga Arturo, Juárez Ángeles Artemio y Salinas Vallejo 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.
- [ 34 ] Ottazzi, Yep, Blondet, Vill-García y Ginocchio; Ensayos de simulación sísmica de viviendas de adobe, Pontificia Universidad Católica del Perú.

## ANEXOS

### ANEXO A. DATOS GRANULOMETRIA

Aquí se pueden encontrar los datos obtenidos en la granulometría de los 2 suelos estudiados para la ejecución de este trabajo.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**ENSAYO DE GRANULOMETRÍA**  
**SUELO PIEDECUESTA 1**

Peso inicial de la muestra: 1047.5 gramos

<b>MALLA</b>	<b>ABERTUR A</b>	<b>PESO SUELO</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% RETENIDO ACUMULAD O</b>	<b>% QUE PASA LA MALLA</b>
<b>No.</b>	<b>(mm)</b>	<b>RETENIDO</b>			
No. 4	4,75	69,7	6,65	6,65	93,35
10	2,0	228	21,77	28,42	71,58
20	0,84	24102	23,03	51,45	48,55
40	0,42	184,5	17,61	69,06	30,94
60	0,25	113	10,79	79,85	20,15
100	0,149	75,1	7,17	87,02	12,98
200	0,074	58,9	5,62	92,64	7,36
Pasa 200	***	77,1	7,36	100	0
Suma	***	1047,5	100		

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**ENSAYO DE GRANULOMETRÍA**  
**SUELO PIEDECUESTA 2**

Peso inicial de la muestra: 1230.4 gramos

<b>MALLA</b>	<b>ABERTUR</b>	<b>PESO</b>	<b>%</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% QUE</b>
<b>No.</b>	<b>A</b>	<b>SUELO</b>	<b>RETENIDO</b>	<b>ACUMULAD</b>	<b>PASA</b>
	<b>(mm)</b>	<b>RETENIDO</b>		<b>O</b>	<b>LA MALLA</b>
No. 4	4,75	33,2	2,70	2,70	97,30
10	2,0	211,7	17,21	19,90	80,10
20	0,84	275,2	22,37	42,27	57,73
40	0,42	233,8	19,00	61,27	38,73
60	0,25	100,5	8,17	69,44	30,56
100	0,149	62,2	5,06	74,50	25,50
200	0,074	135,3	11,00	85,49	14,51
Pasa 200	***	178,5	14,51	100,00	0,00
Suma	***	1230,4	100,00		

## ANEXO B. DATOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE

En este anexo se puede encontrar los datos obtenidos en los ensayos de compresión simple con los cuales se realizaron las diferentes graficas de esfuerzo contra deformación de las unidades de adobe ensayadas.

### 1. ADOBE MODIFICADO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA, CAL Y FIQUE

#### ➤ Ensayo 1

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	68	8,5	0,7
800	106	13,3	1,4
1200	126	15,8	2,1
1600	141	17,6	2,8
2000	157	19,6	3,5
2400	171	21,4	4,2
2800	188	23,5	4,9
3200	204	25,5	5,6
3600	218	27,3	6,3
4000	227	28,4	6,9
4400	239	29,9	7,6
4800	294	36,8	8,3
5200	314	39,3	9,0
5600	333	41,6	9,7
6000	352	44,0	10,4

6400	370	46,3	11,1
6800	388	48,5	11,8
7200	405	50,6	12,5
7600	427	53,4	13,2
8000	449	56,1	13,9
8400	471	58,9	14,6
8800	494	61,8	15,3
9200	513	64,1	16,0
9600	535	66,9	16,7
10000	555	69,4	17,4
10400	574	71,8	18,1
10800	596	74,5	18,8
11200	618	77,3	19,4
11600	640	80,0	20,1
12000	672	84,0	20,8
12400	684	85,5	21,5
12800	705	88,1	22,2
13200	726	90,8	22,9
13600	747	93,4	23,6
14000	767	95,9	24,3
14400	790	98,8	25,0
14800	811	101,4	25,7
15200	841	105,1	26,4
15600	853	106,6	27,1
16000	888	111,0	27,8
16400	920	115,0	28,5
16800	962	120,3	29,2
17200	983	122,9	29,9
17600	1012	126,5	30,6
18000	1036	129,5	31,3
18400	1085	135,6	31,9
18800	1134	141,8	32,6
19200	1164	145,5	33,3
19600	1203	150,4	34,0
20000	1263	157,9	34,7
20400	1355	169,4	35,4

➤ **Ensayo 2**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	55	6,9	0,7
800	105	13,1	1,4
1200	126	15,8	2,1
1600	146	18,3	2,8
2000	166	20,8	3,5
2400	175	21,9	4,2
2800	181	22,6	4,9
3200	195	24,4	5,6
3600	215	26,9	6,3
4000	231	28,9	6,9
4400	245	30,6	7,6
4800	265	33,1	8,3
5200	286	35,8	9,0
5600	306	38,3	9,7
6000	327	40,9	10,4
6400	348	43,5	11,1
6800	369	46,1	11,8
7200	491	61,4	12,5
7600	501	62,6	13,2
8000	521	65,1	13,9
8400	543	67,9	14,6
8800	565	70,6	15,3
9200	585	73,1	16,0
9600	608	76,0	16,7
10000	630	78,8	17,4
10400	651	81,4	18,1
10800	671	83,9	18,8
11200	691	86,4	19,4
11600	712	89,0	20,1
12000	733	91,6	20,8

12400	755	94,4	21,5
12800	777	97,1	22,2
13200	797	99,6	22,9
13600	829	103,6	23,6
14000	860	107,5	24,3
14400	891	111,4	25,0
14800	922	115,3	25,7
15200	955	119,4	26,4
15600	999	124,9	27,1
16000	1035	129,4	27,8
16400	1071	133,9	28,5
16800	1104	138,0	29,2
17200	1140	142,5	29,9
17600	1202	150,3	30,6
18000	1262	157,8	31,3
18400	1320	165,0	31,9
18800	1388	173,5	32,6

➤ **Ensayo 3**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	70	8,8	0,7
800	108	13,5	1,4
1200	128	16,0	2,1
1600	143	17,9	2,8
2000	159	19,9	3,5
2400	173	21,6	4,2
2800	190	23,8	4,9
3200	206	25,8	5,6
3600	220	27,5	6,3
4000	229	28,6	6,9

4400	241	30,1	7,6
4800	296	37,0	8,3
5200	316	39,5	9,0
5600	335	41,9	9,7
6000	355	44,4	10,4
6400	368	46,0	11,1
6800	386	48,3	11,8
7200	403	50,4	12,5
7600	425	53,1	13,2
8000	447	55,9	13,9
8400	469	58,6	14,6
8800	492	61,5	15,3
9200	511	63,9	16,0
9600	533	66,6	16,7
10000	553	69,1	17,4
10400	572	71,5	18,1
10800	598	74,8	18,8
11200	616	77,0	19,4
11600	641	80,1	20,1
12000	673	84,1	20,8
12400	683	85,4	21,5
12800	700	87,5	22,2
13200	720	90,0	22,9
13600	742	92,8	23,6
14000	762	95,3	24,3
14400	785	98,1	25,0
14800	806	100,8	25,7
15200	836	104,5	26,4
15600	847	105,9	27,1
16000	877	109,6	27,8
16400	915	114,4	28,5
16800	957	119,6	29,2
17200	973	121,6	29,9
17600	1002	125,3	30,6
18000	1025	128,1	31,3
18400	1074	134,3	31,9
18800	1123	140,4	32,6
19200	1153	144,1	33,3
19600	1192	149,0	34,0
20000	1252	156,5	34,7

20400	1344	168,0	35,4
20800	1398	174,8	36,1

➤ **Ensayo 4**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	73	9,1	0,7
800	108	13,5	1,4
1200	129	16,1	2,1
1600	143	17,9	2,8
2000	160	20,0	3,5
2400	173	21,6	4,2
2800	190	23,8	4,9
3200	207	25,9	5,6
3600	220	27,5	6,3
4000	231	28,9	6,9
4400	241	30,1	7,6
4800	297	37,1	8,3
5200	316	39,5	9,0
5600	336	42,0	9,7
6000	354	44,3	10,4
6400	373	46,6	11,1
6800	390	48,8	11,8
7200	408	51,0	12,5
7600	430	53,8	13,2
8000	451	56,4	13,9
8400	474	59,3	14,6
8800	496	62,0	15,3
9200	516	64,5	16,0
9600	537	67,1	16,7
10000	557	69,6	17,4

10400	576	72,0	18,1
10800	599	74,9	18,8
11200	620	77,5	19,4
11600	643	80,4	20,1
12000	675	84,4	20,8
12400	686	85,8	21,5
12800	708	88,5	22,2
13200	729	91,1	22,9
13600	750	93,8	23,6
14000	769	96,1	24,3
14400	792	99,0	25,0
14800	813	101,6	25,7
15200	844	105,5	26,4
15600	852	106,5	27,1
16000	899	112,4	27,8
16400	925	115,6	28,5
16800	970	121,3	29,2
17200	990	123,8	29,9
17600	1120	140,0	30,6
18000	1150	143,8	31,3
18400	1202	150,3	31,9
18800	1255	156,9	32,6
19200	1303	162,9	33,3
19600	1370	171,3	34,0

➤ **Ensayo 5**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	64	8,0	0,7
800	102	12,8	1,4
1200	122	15,3	2,1



1600	141	17,6	2,8
2000	154	19,3	3,5
2400	166	20,8	4,2
2800	184	23,0	4,9
3200	199	24,9	5,6
3600	213	26,6	6,3
4000	224	28,0	6,9
4400	235	29,4	7,6
4800	289	36,1	8,3
5200	309	38,6	9,0
5600	328	41,0	9,7
6000	348	43,5	10,4
6400	364	45,5	11,1
6800	382	47,8	11,8
7200	400	50,0	12,5
7600	421	52,6	13,2
8000	442	55,3	13,9
8400	466	58,3	14,6
8800	488	61,0	15,3
9200	508	63,5	16,0
9600	529	66,1	16,7
10000	548	68,5	17,4
10400	569	71,1	18,1
10800	591	73,9	18,8
11200	612	76,5	19,4
11600	635	79,4	20,1
12000	665	83,1	20,8
12400	679	84,9	21,5
12800	701	87,6	22,2
13200	721	90,1	22,9
13600	742	92,8	23,6
14000	762	95,3	24,3
14400	785	98,1	25,0
14800	804	100,5	25,7
15200	835	104,4	26,4
15600	848	106,0	27,1
16000	881	110,1	27,8
16400	915	114,4	28,5
16800	955	119,4	29,2
17200	975	121,9	29,9

17600	1005	125,6	30,6
18000	1030	128,8	31,3
18400	1080	135,0	31,9
18800	1130	141,3	32,6
19200	1159	144,9	33,3
19600	1195	149,4	34,0
20000	1255	156,9	34,7
20400	1340	167,5	35,4

## 2. ADOBE MODIFICADO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA, Y FIQUE.

### ➤ Ensayo 1

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	5	0,6	0,7
800	6	0,8	1,4
1200	44	5,5	2,1
1600	58	7,3	2,8
2000	72	9,0	3,5
2400	84	10,5	4,2
2800	96	12,0	4,9
3200	108	13,5	5,6
3600	120	15,0	6,3
4000	132	16,5	6,9
4400	146	18,3	7,6
4800	158	19,8	8,3
5200	168	21,0	9,0
5600	177	22,1	9,7
6000	187	23,4	10,4
6400	199	24,9	11,1
6800	210	26,3	11,8
7200	218	27,3	12,5

7600	229	28,6	13,2
8000	241	30,1	13,9
8400	251	31,4	14,6
8800	261	32,6	15,3
9200	272	34,0	16,0
9600	286	35,8	16,7
10000	298	37,3	17,4
10400	311	38,9	18,1
10800	323	40,4	18,8
11200	334	41,8	19,4
11600	349	43,6	20,1
12000	365	45,6	20,8
12400	380	47,5	21,5
12800	396	49,5	22,2
13200	413	51,6	22,9
13600	432	54,0	23,6
14000	448	56,0	24,3
14400	464	58,0	25,0
14800	487	60,9	25,7
15200	500	62,5	26,4
15600	510	63,8	27,1
16000	545	68,1	27,8
16400	586	73,3	28,5
16800	612	76,5	29,2
17200	645	80,6	29,9
17600	680	85,0	30,6
18000	711	88,9	31,3
18400	750	93,8	31,9
18800	790	98,8	32,6
19200	853	106,6	33,3
19600	900	112,5	34,0
20000	934	116,8	34,7
20400	978	122,3	35,4
20800	1030	128,8	36,1
21200	1080	135,0	36,8
21600	1155	144,4	37,5

➤ **Ensayo 2**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	4	0,5	0,7
800	12	1,5	1,4
1200	39	4,9	2,1
1600	57	7,1	2,8
2000	70	8,8	3,5
2400	80	10,0	4,2
2800	93	11,6	4,9
3200	105	13,1	5,6
3600	117	14,6	6,3
4000	130	16,3	6,9
4400	143	17,9	7,6
4800	155	19,4	8,3
5200	164	20,5	9,0
5600	176	22,0	9,7
6000	184	23,0	10,4
6400	195	24,4	11,1
6800	206	25,8	11,8
7200	214	26,8	12,5
7600	225	28,1	13,2
8000	235	29,4	13,9
8400	246	30,8	14,6
8800	259	32,4	15,3
9200	270	33,8	16,0
9600	280	35,0	16,7
10000	291	36,4	17,4
10400	305	38,1	18,1
10800	319	39,9	18,8
11200	329	41,1	19,4
11600	342	42,8	20,1
12000	359	44,9	20,8

12400	375	46,9	21,5
12800	400	50,0	22,2
13200	415	51,9	22,9
13600	431	53,9	23,6
14000	448	56,0	24,3
14400	468	58,5	25,0
14800	488	61,0	25,7
15200	506	63,3	26,4
15600	526	65,8	27,1
16000	546	68,3	27,8
16400	594	74,3	28,5
16800	622	77,8	29,2
17200	665	83,1	29,9
17600	699	87,4	30,6
18000	721	90,1	31,3
18400	765	95,6	31,9
18800	799	99,9	32,6
19200	870	108,8	33,3
19600	910	113,8	34,0
20000	944	118,0	34,7
20400	995	124,4	35,4
20800	1010	126,3	36,1

➤ **Ensayo 3**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	5	0,6	0,7
800	5	0,6	1,4
1200	30	3,8	2,1
1600	62	7,8	2,8
2000	75	9,4	3,5
2400	90	11,3	4,2

2800	99	12,4	4,9
3200	112	14,0	5,6
3600	122	15,3	6,3
4000	135	16,9	6,9
4400	144	18,0	7,6
4800	157	19,6	8,3
5200	167	20,9	9,0
5600	177	22,1	9,7
6000	187	23,4	10,4
6400	197	24,6	11,1
6800	210	26,3	11,8
7200	212	26,5	12,5
7600	224	28,0	13,2
8000	236	29,5	13,9
8400	248	31,0	14,6
8800	261	32,6	15,3
9200	273	34,1	16,0
9600	289	36,1	16,7
10000	298	37,3	17,4
10400	311	38,9	18,1
10800	324	40,5	18,8
11200	335	41,9	19,4
11600	349	43,6	20,1
12000	364	45,5	20,8
12400	379	47,4	21,5
12800	389	48,6	22,2
13200	407	50,9	22,9
13600	433	54,1	23,6
14000	450	56,3	24,3
14400	460	57,5	25,0
14800	482	60,3	25,7
15200	501	62,6	26,4
15600	512	64,0	27,1
16000	542	67,8	27,8
16400	583	72,9	28,5
16800	610	76,3	29,2
17200	641	80,1	29,9
17600	675	84,4	30,6
18000	708	88,5	31,3
18400	747	93,4	31,9

18800	788	98,5	32,6
19200	849	106,1	33,3
19600	885	110,6	34,0
20000	930	116,3	34,7
20400	971	121,4	35,4
20800	1025	128,1	36,1
21200	1075	134,4	36,8
21600	1100	137,5	37,5

➤ **Ensayo 4**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	4	0,5	0,7
800	4	0,5	1,4
1200	30	3,8	2,1
1600	51	6,4	2,8
2000	71	8,9	3,5
2400	82	10,3	4,2
2800	93	11,6	4,9
3200	104	13,0	5,6
3600	115	14,4	6,3
4000	131	16,4	6,9
4400	144	18,0	7,6
4800	154	19,3	8,3
5200	164	20,5	9,0
5600	173	21,6	9,7
6000	184	23,0	10,4
6400	195	24,4	11,1
6800	205	25,6	11,8
7200	213	26,6	12,5
7600	225	28,1	13,2
8000	235	29,4	13,9

8400	245	30,6	14,6
8800	256	32,0	15,3
9200	267	33,4	16,0
9600	281	35,1	16,7
10000	292	36,5	17,4
10400	306	38,3	18,1
10800	316	39,5	18,8
11200	329	41,1	19,4
11600	336	42,0	20,1
12000	360	45,0	20,8
12400	375	46,9	21,5
12800	390	48,8	22,2
13200	411	51,4	22,9
13600	430	53,8	23,6
14000	445	55,6	24,3
14400	460	57,5	25,0
14800	485	60,6	25,7
15200	494	61,8	26,4
15600	505	63,1	27,1
16000	540	67,5	27,8
16400	579	72,4	28,5
16800	604	75,5	29,2
17200	638	79,8	29,9
17600	674	84,3	30,6
18000	705	88,1	31,3
18400	744	93,0	31,9
18800	785	98,1	32,6
19200	850	106,3	33,3
19600	891	111,4	34,0
20000	931	116,4	34,7
20400	977	122,1	35,4
20800	1030	128,8	36,1
21200	1071	133,9	36,8
21600	1150	143,8	37,5
22000	1201	150,1	38,2
22400	1280	160,0	38,9

➤ **Ensayo 5**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	5	0,6	0,7
800	5	0,6	1,4
1200	40	5,0	2,1
1600	60	7,5	2,8
2000	81	10,1	3,5
2400	86	10,8	4,2
2800	97	12,1	4,9
3200	107	13,4	5,6
3600	121	15,1	6,3
4000	133	16,6	6,9
4400	142	17,8	7,6
4800	157	19,6	8,3
5200	165	20,6	9,0
5600	174	21,8	9,7
6000	184	23,0	10,4
6400	195	24,4	11,1
6800	207	25,9	11,8
7200	215	26,9	12,5
7600	224	28,0	13,2
8000	235	29,4	13,9
8400	245	30,6	14,6
8800	255	31,9	15,3
9200	275	34,4	16,0
9600	287	35,9	16,7
10000	300	37,5	17,4
10400	310	38,8	18,1
10800	321	40,1	18,8
11200	333	41,6	19,4
11600	348	43,5	20,1
12000	360	45,0	20,8
12400	370	46,3	21,5

12800	380	47,5	22,2
13200	395	49,4	22,9
13600	415	51,9	23,6
14000	435	54,4	24,3
14400	455	56,9	25,0
14800	470	58,8	25,7
15200	491	61,4	26,4
15600	515	64,4	27,1
16000	535	66,9	27,8
16400	566	70,8	28,5
16800	598	74,8	29,2
17200	630	78,8	29,9
17600	666	83,3	30,6
18000	698	87,3	31,3
18400	730	91,3	31,9
18800	761	95,1	32,6
19200	792	99,0	33,3
19600	822	102,8	34,0
20000	855	106,9	34,7
20400	900	112,5	35,4
20800	943	117,9	36,1
21200	982	122,8	36,8
21600	1012	126,5	37,5
22000	1070	133,8	38,2
22400	1110	138,8	38,9

### 3. ADOBE MODIFICADO CON CAL Y FIQUE.

➤ **Ensayo 1**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	8	1,0	0,7
800	50	6,3	1,4
1200	73	9,1	2,1
1600	104	13,0	2,8
2000	113	14,1	3,5
2400	129	16,1	4,2
2800	143	17,9	4,9
3200	160	20,0	5,6
3600	177	22,1	6,3
4000	192	24,0	6,9
4400	208	26,0	7,6
4800	227	28,4	8,3
5200	246	30,8	9,0
5600	264	33,0	9,7
6000	287	35,9	10,4
6400	307	38,4	11,1
6800	329	41,1	11,8
7200	353	44,1	12,5
7600	377	47,1	13,2
8000	404	50,5	13,9
8400	429	53,6	14,6
8800	460	57,5	15,3
9200	495	61,9	16,0
9600	532	66,5	16,7
10000	580	72,5	17,4
10400	643	80,4	18,1

10800	717	89,6	18,8
11200	799	99,9	19,4
11600	889	111,1	20,1
12000	988	123,5	20,8

➤ **Ensayo 2**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	12	1,5	0,7
800	50	6,3	1,4
1200	73	9,1	2,1
1600	104	13,0	2,8
2000	114	14,3	3,5
2400	134	16,8	4,2
2800	149	18,6	4,9
3200	166	20,8	5,6
3600	182	22,8	6,3
4000	199	24,9	6,9
4400	214	26,8	7,6
4800	235	29,4	8,3
5200	249	31,1	9,0
5600	268	33,5	9,7
6000	290	36,3	10,4
6400	309	38,6	11,1
6800	325	40,6	11,8
7200	350	43,8	12,5
7600	375	46,9	13,2
8000	400	50,0	13,9
8400	426	53,3	14,6
8800	455	56,9	15,3
9200	490	61,3	16,0
9600	520	65,0	16,7

10000	570	71,3	17,4
10400	631	78,9	18,1
10800	712	89,0	18,8
11200	785	98,1	19,4
11600	877	109,6	20,1
12000	976	122,0	20,8

➤ **Ensayo 3**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	5	0,6	0,7
800	44	5,5	1,4
1200	62	7,8	2,1
1600	99	12,4	2,8
2000	109	13,6	3,5
2400	125	15,6	4,2
2800	138	17,3	4,9
3200	151	18,9	5,6
3600	172	21,5	6,3
4000	185	23,1	6,9
4400	201	25,1	7,6
4800	222	27,8	8,3
5200	240	30,0	9,0
5600	258	32,3	9,7
6000	282	35,3	10,4
6400	302	37,8	11,1
6800	325	40,6	11,8
7200	340	42,5	12,5
7600	366	45,8	13,2
8000	393	49,1	13,9
8400	411	51,4	14,6

8800	452	56,5	15,3
9200	486	60,8	16,0
9600	520	65,0	16,7
10000	569	71,1	17,4
10400	633	79,1	18,1
10800	701	87,6	18,8
11200	770	96,3	19,4
11600	865	108,1	20,1
12000	945	118,1	20,8
12400	1032	129,0	21,5

➤ **Ensayo 4**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	15	1,9	0,7
800	55	6,9	1,4
1200	78	9,8	2,1
1600	110	13,8	2,8
2000	120	15,0	3,5
2400	141	17,6	4,2
2800	150	18,8	4,9
3200	172	21,5	5,6
3600	189	23,6	6,3
4000	215	26,9	6,9
4400	225	28,1	7,6
4800	240	30,0	8,3
5200	260	32,5	9,0
5600	279	34,9	9,7
6000	301	37,6	10,4
6400	322	40,3	11,1
6800	344	43,0	11,8
7200	365	45,6	12,5

7600	375	46,9	13,2
8000	410	51,3	13,9
8400	430	53,8	14,6
8800	470	58,8	15,3
9200	495	61,9	16,0
9600	540	67,5	16,7
10000	640	80,0	17,4
10400	732	91,5	18,1
10800	825	103,1	18,8
11200	933	116,6	19,4

➤ **Ensayo 5**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	3	0,4	0,7
800	40	5,0	1,4
1200	71	8,9	2,1
1600	95	11,9	2,8
2000	105	13,1	3,5
2400	126	15,8	4,2
2800	139	17,4	4,9
3200	150	18,8	5,6
3600	171	21,4	6,3
4000	186	23,3	6,9
4400	202	25,3	7,6
4800	223	27,9	8,3
5200	244	30,5	9,0
5600	261	32,6	9,7
6000	283	35,4	10,4
6400	301	37,6	11,1
6800	323	40,4	11,8
7200	339	42,4	12,5

7600	365	45,6	13,2
8000	389	48,6	13,9
8400	405	50,6	14,6
8800	444	55,5	15,3
9200	478	59,8	16,0
9600	510	63,8	16,7
10000	560	70,0	17,4
10400	640	80,0	18,1
10800	690	86,3	18,8
11200	766	95,8	19,4
11600	846	105,8	20,1
12000	955	119,4	20,8

#### 4. ADOBE MODIFICADO CON FIQUE.

##### ➤ Ensayo 1

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	0	0,0	0,7
800	5	0,6	1,4
1200	14	1,8	2,1
1600	21	2,6	2,8
2000	27	3,4	3,5
2400	33	4,1	4,2
2800	40	5,0	4,9
3200	45	5,6	5,6
3600	50	6,3	6,3
4000	55	6,9	6,9
4400	60	7,5	7,6
4800	64	8,0	8,3
5200	68	8,5	9,0

5600	72	9,0	9,7
6000	76	9,5	10,4
6400	80	10,0	11,1
6800	84	10,5	11,8
7200	87	10,9	12,5
7600	90	11,3	13,2
8000	94	11,8	13,9
8400	98	12,3	14,6
8800	104	13,0	15,3
9200	104	13,0	16,0
9600	106	13,3	16,7
10000	109	13,6	17,4
10400	111	13,9	18,1
10800	114	14,3	18,8
11200	116	14,5	19,4
11600	118	14,8	20,1
12000	122	15,3	20,8
12400	125	15,6	21,5
12800	127	15,9	22,2
13200	130	16,3	22,9
13600	133	16,6	23,6
14000	136	17,0	24,3
14400	139	17,4	25,0
14800	141	17,6	25,7
15200	144	18,0	26,4
15600	148	18,5	27,1
16000	151	18,9	27,8
16400	154	19,3	28,5
16800	157	19,6	29,2
17200	160	20,0	29,9
17600	164	20,5	30,6
18000	168	21,0	31,3
18400	173	21,6	31,9
18800	177	22,1	32,6
19200	182	22,8	33,3
19600	187	23,4	34,0
20000	194	24,3	34,7
20400	202	25,3	35,4
20800	209	26,1	36,1
21200	216	27,0	36,8

21600	224	28,0	37,5
22000	233	29,1	38,2
22400	243	30,4	38,9
22800	250	31,3	39,6
23200	262	32,8	40,3
23600	275	34,4	41,0
24000	290	36,3	41,7
24400	308	38,5	42,4
24800	320	40,0	43,1
25200	348	43,5	43,8
25600	378	47,3	44,4
26000	465	58,1	45,1

➤ **Ensayo 2**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	0	0,0	0,7
800	6	0,8	1,4
1200	15	1,9	2,1
1600	21	2,6	2,8
2000	28	3,5	3,5
2400	32	4,0	4,2
2800	41	5,1	4,9
3200	45	5,6	5,6
3600	51	6,4	6,3
4000	56	7,0	6,9
4400	61	7,6	7,6
4800	65	8,1	8,3
5200	69	8,6	9,0
5600	72	9,0	9,7
6000	75	9,4	10,4
6400	78	9,8	11,1

6800	81	10,1	11,8
7200	85	10,6	12,5
7600	91	11,4	13,2
8000	95	11,9	13,9
8400	99	12,4	14,6
8800	103	12,9	15,3
9200	106	13,3	16,0
9600	109	13,6	16,7
10000	110	13,8	17,4
10400	112	14,0	18,1
10800	115	14,4	18,8
11200	116	14,5	19,4
11600	118	14,8	20,1
12000	122	15,3	20,8
12400	124	15,5	21,5
12800	126	15,8	22,2
13200	129	16,1	22,9
13600	132	16,5	23,6
14000	135	16,9	24,3
14400	139	17,4	25,0
14800	142	17,8	25,7
15200	145	18,1	26,4
15600	149	18,6	27,1
16000	152	19,0	27,8
16400	155	19,4	28,5
16800	158	19,8	29,2
17200	161	20,1	29,9
17600	164	20,5	30,6
18000	167	20,9	31,3
18400	171	21,4	31,9
18800	175	21,9	32,6
19200	181	22,6	33,3
19600	186	23,3	34,0
20000	195	24,4	34,7
20400	203	25,4	35,4
20800	210	26,3	36,1
21200	217	27,1	36,8
21600	225	28,1	37,5
22000	234	29,3	38,2
22400	245	30,6	38,9

22800	252	31,5	39,6
23200	263	32,9	40,3
23600	278	34,8	41,0
24000	288	36,0	41,7
24400	306	38,3	42,4
24800	315	39,4	43,1
25200	333	41,6	43,8
25600	360	45,0	44,4
26000	390	48,8	45,1
26400	442	55,3	45,8

➤ **Ensayo 3**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	2	0,3	0,7
800	4	0,5	1,4
1200	13	1,6	2,1
1600	20	2,5	2,8
2000	26	3,3	3,5
2400	32	4,0	4,2
2800	39	4,9	4,9
3200	44	5,5	5,6
3600	49	6,1	6,3
4000	54	6,8	6,9
4400	58	7,3	7,6
4800	62	7,8	8,3
5200	66	8,3	9,0
5600	70	8,8	9,7
6000	74	9,3	10,4
6400	78	9,8	11,1
6800	82	10,3	11,8
7200	85	10,6	12,5

7600	89	11,1	13,2
8000	95	11,9	13,9
8400	99	12,4	14,6
8800	105	13,1	15,3
9200	106	13,3	16,0
9600	106	13,3	16,7
10000	110	13,8	17,4
10400	112	14,0	18,1
10800	116	14,5	18,8
11200	117	14,6	19,4
11600	118	14,8	20,1
12000	123	15,4	20,8
12400	126	15,8	21,5
12800	128	16,0	22,2
13200	131	16,4	22,9
13600	134	16,8	23,6
14000	137	17,1	24,3
14400	141	17,6	25,0
14800	142	17,8	25,7
15200	145	18,1	26,4
15600	149	18,6	27,1
16000	152	19,0	27,8
16400	155	19,4	28,5
16800	159	19,9	29,2
17200	162	20,3	29,9
17600	165	20,6	30,6
18000	169	21,1	31,3
18400	174	21,8	31,9
18800	177	22,1	32,6
19200	181	22,6	33,3
19600	186	23,3	34,0
20000	192	24,0	34,7
20400	200	25,0	35,4
20800	207	25,9	36,1
21200	215	26,9	36,8
21600	221	27,6	37,5
22000	230	28,8	38,2
22400	241	30,1	38,9
22800	247	30,9	39,6
23200	259	32,4	40,3

23600	270	33,8	41,0
24000	285	35,6	41,7
24400	302	37,8	42,4
24800	315	39,4	43,1
25200	340	42,5	43,8
25600	371	46,4	44,4
26000	435	54,4	45,1

➤ **Ensayo 4**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	0	0,0	0,7
800	5	0,6	1,4
1200	15	1,9	2,1
1600	21	2,6	2,8
2000	28	3,5	3,5
2400	33	4,1	4,2
2800	41	5,1	4,9
3200	45	5,6	5,6
3600	51	6,4	6,3
4000	55	6,9	6,9
4400	61	7,6	7,6
4800	64	8,0	8,3
5200	69	8,6	9,0
5600	72	9,0	9,7
6000	77	9,6	10,4
6400	80	10,0	11,1
6800	85	10,6	11,8
7200	87	10,9	12,5
7600	91	11,4	13,2
8000	94	11,8	13,9

8400	99	12,4	14,6
8800	104	13,0	15,3
9200	107	13,4	16,0
9600	110	13,8	16,7
10000	113	14,1	17,4
10400	116	14,5	18,1
10800	119	14,9	18,8
11200	122	15,3	19,4
11600	125	15,6	20,1
12000	127	15,9	20,8
12400	130	16,3	21,5
12800	133	16,6	22,2
13200	136	17,0	22,9
13600	139	17,4	23,6
14000	141	17,6	24,3
14400	144	18,0	25,0
14800	147	18,4	25,7
15200	151	18,9	26,4
15600	155	19,4	27,1
16000	159	19,9	27,8
16400	164	20,5	28,5
16800	168	21,0	29,2
17200	172	21,5	29,9
17600	178	22,3	30,6
18000	183	22,9	31,3
18400	187	23,4	31,9
18800	193	24,1	32,6
19200	196	24,5	33,3
19600	200	25,0	34,0
20000	206	25,8	34,7
20400	212	26,5	35,4
20800	218	27,3	36,1
21200	224	28,0	36,8
21600	232	29,0	37,5
22000	240	30,0	38,2
22400	251	31,4	38,9
22800	261	32,6	39,6
23200	274	34,3	40,3
23600	289	36,1	41,0
24000	307	38,4	41,7

24400	319	39,9	42,4
24800	340	42,5	43,1
25200	371	46,4	43,8
25600	452	56,5	44,4

➤ **Ensayo 5**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	1	0,1	0,7
800	7	0,9	1,4
1200	15	1,9	2,1
1600	23	2,9	2,8
2000	29	3,6	3,5
2400	35	4,4	4,2
2800	42	5,3	4,9
3200	47	5,9	5,6
3600	52	6,5	6,3
4000	57	7,1	6,9
4400	62	7,8	7,6
4800	66	8,3	8,3
5200	70	8,8	9,0
5600	74	9,3	9,7
6000	78	9,8	10,4
6400	83	10,4	11,1
6800	86	10,8	11,8
7200	88	11,0	12,5
7600	91	11,4	13,2
8000	95	11,9	13,9
8400	99	12,4	14,6
8800	106	13,3	15,3
9200	108	13,5	16,0
9600	110	13,8	16,7
10000	112	14,0	17,4

10400	113	14,1	18,1
10800	115	14,4	18,8
11200	116	14,5	19,4
11600	119	14,9	20,1
12000	125	15,6	20,8
12400	127	15,9	21,5
12800	129	16,1	22,2
13200	133	16,6	22,9
13600	135	16,9	23,6
14000	139	17,4	24,3
14400	142	17,8	25,0
14800	145	18,1	25,7
15200	147	18,4	26,4
15600	149	18,6	27,1
16000	153	19,1	27,8
16400	154	19,3	28,5
16800	156	19,5	29,2
17200	159	19,9	29,9
17600	164	20,5	30,6
18000	167	20,9	31,3
18400	172	21,5	31,9
18800	176	22,0	32,6
19200	181	22,6	33,3
19600	186	23,3	34,0
20000	193	24,1	34,7
20400	201	25,1	35,4
20800	208	26,0	36,1
21200	214	26,8	36,8
21600	222	27,8	37,5
22000	230	28,8	38,2
22400	240	30,0	38,9
22800	250	31,3	39,6
23200	260	32,5	40,3
23600	272	34,0	41,0
24000	285	35,6	41,7
24400	301	37,6	42,4
24800	315	39,4	43,1
25200	333	41,6	43,8
25600	375	46,9	44,4
26000	446	55,8	45,1

## 5. ADOBE SIN MODIFICAR

### ➤ Ensayo 1

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	1	0,1	0,7
800	1	0,1	1,4
1200	1	0,1	2,1
1600	1	0,1	2,8
2000	1,5	0,2	3,5
2400	2	0,3	4,2
2800	2,5	0,3	4,9
3200	4	0,5	5,6
3600	6	0,8	6,3
4000	8	1,0	6,9
4400	11	1,4	7,6
4800	12	1,5	8,3
5200	16	2,0	9,0
5600	19	2,4	9,7
6000	22	2,8	10,4
6400	25	3,1	11,1
6800	29	3,6	11,8
7200	32	4,0	12,5
7600	36	4,5	13,2
8000	39	4,9	13,9
8400	43	5,4	14,6
8800	47	5,9	15,3
9200	52	6,5	16,0
9600	55	6,9	16,7
10000	60	7,5	17,4
10400	64	8,0	18,1
10800	69	8,6	18,8

11200	73	9,1	19,4
11600	78	9,8	20,1
12000	83	10,4	20,8
12400	89	11,1	21,5
12800	94	11,8	22,2
13200	99	12,4	22,9
13600	105	13,1	23,6
14000	112	14,0	24,3
14400	117	14,6	25,0
14800	126	15,8	25,7
15200	132	16,5	26,4
15600	139	17,4	27,1
16000	145	18,1	27,8
16400	152	19,0	28,5
16800	159	19,9	29,2
17200	166	20,8	29,9
17600	174	21,8	30,6
18000	184	23,0	31,3
18400	193	24,1	31,9
18800	204	25,5	32,6
19200	217	27,1	33,3
19600	229	28,6	34,0
20000	246	30,8	34,7
20400	265	33,1	35,4
20800	290	36,3	36,1
21200	315	39,4	36,8

➤ **Ensayo 2**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	1	0,1	0,7
800	1	0,1	1,4

1200	1	0,1	2,1
1600	1	0,1	2,8
2000	1	0,1	3,5
2400	1,5	0,2	4,2
2800	2	0,3	4,9
3200	3	0,4	5,6
3600	5	0,6	6,3
4000	8	1,0	6,9
4400	12	1,5	7,6
4800	12	1,5	8,3
5200	18	2,3	9,0
5600	19	2,4	9,7
6000	21	2,6	10,4
6400	24	3,0	11,1
6800	26	3,3	11,8
7200	30	3,8	12,5
7600	35	4,4	13,2
8000	37	4,6	13,9
8400	42	5,3	14,6
8800	47	5,9	15,3
9200	51	6,4	16,0
9600	54	6,8	16,7
10000	58	7,3	17,4
10400	62	7,8	18,1
10800	67	8,4	18,8
11200	71	8,9	19,4
11600	77	9,6	20,1
12000	83	10,4	20,8
12400	88	11,0	21,5
12800	92	11,5	22,2
13200	97	12,1	22,9
13600	102	12,8	23,6
14000	112	14,0	24,3
14400	117	14,6	25,0
14800	123	15,4	25,7
15200	127	15,9	26,4
15600	133	16,6	27,1
16000	139	17,4	27,8
16400	146	18,3	28,5
16800	159	19,9	29,2

17200	169	21,1	29,9
17600	179	22,4	30,6
18000	189	23,6	31,3
18400	199	24,9	31,9
18800	220	27,5	32,6
19200	241	30,1	33,3
19600	266	33,3	34,0
20000	285	35,6	34,7

➤ **Ensayo 3**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	1	0,1	0,7
800	1	0,1	1,4
1200	1	0,1	2,1
1600	1	0,1	2,8
2000	1,5	0,2	3,5
2400	2	0,3	4,2
2800	3	0,4	4,9
3200	5	0,6	5,6
3600	7	0,9	6,3
4000	9	1,1	6,9
4400	12	1,5	7,6
4800	13	1,6	8,3
5200	17	2,1	9,0
5600	20	2,5	9,7
6000	23	2,9	10,4
6400	26	3,3	11,1
6800	30	3,8	11,8
7200	33	4,1	12,5
7600	37	4,6	13,2
8000	40	5,0	13,9

8400	45	5,6	14,6
8800	49	6,1	15,3
9200	53	6,6	16,0
9600	57	7,1	16,7
10000	61	7,6	17,4
10400	64	8,0	18,1
10800	68	8,5	18,8
11200	72	9,0	19,4
11600	77	9,6	20,1
12000	82	10,3	20,8
12400	88	11,0	21,5
12800	93	11,6	22,2
13200	98	12,3	22,9
13600	104	13,0	23,6
14000	113	14,1	24,3
14400	118	14,8	25,0
14800	127	15,9	25,7
15200	133	16,6	26,4
15600	140	17,5	27,1
16000	146	18,3	27,8
16400	154	19,3	28,5
16800	162	20,3	29,2
17200	168	21,0	29,9
17600	177	22,1	30,6
18000	185	23,1	31,3
18400	195	24,4	31,9
18800	204	25,5	32,6
19200	220	27,5	33,3
19600	229	28,6	34,0
20000	243	30,4	34,7
20400	266	33,3	35,4
20800	285	35,6	36,1
21200	315	39,4	36,8
21600	333	41,6	37,5

➤ **Ensayo 4**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	1	0,1	0,7
800	1	0,1	1,4
1200	1	0,1	2,1
1600	1	0,1	2,8
2000	1	0,1	3,5
2400	1,5	0,2	4,2
2800	2,5	0,3	4,9
3200	5	0,6	5,6
3600	7	0,9	6,3
4000	8	1,0	6,9
4400	11	1,4	7,6
4800	12	1,5	8,3
5200	13	1,6	9,0
5600	17	2,1	9,7
6000	21	2,6	10,4
6400	24	3,0	11,1
6800	28	3,5	11,8
7200	30	3,8	12,5
7600	36	4,5	13,2
8000	39	4,9	13,9
8400	43	5,4	14,6
8800	47	5,9	15,3
9200	51	6,4	16,0
9600	56	7,0	16,7
10000	60	7,5	17,4
10400	65	8,1	18,1
10800	69	8,6	18,8
11200	74	9,3	19,4
11600	78	9,8	20,1

12000	84	10,5	20,8
12400	87	10,9	21,5
12800	93	11,6	22,2
13200	100	12,5	22,9
13600	104	13,0	23,6
14000	111	13,9	24,3
14400	116	14,5	25,0
14800	124	15,5	25,7
15200	130	16,3	26,4
15600	137	17,1	27,1
16000	144	18,0	27,8
16400	151	18,9	28,5
16800	158	19,8	29,2
17200	166	20,8	29,9
17600	172	21,5	30,6
18000	182	22,8	31,3
18400	192	24,0	31,9
18800	204	25,5	32,6
19200	214	26,8	33,3
19600	226	28,3	34,0
20000	246	30,8	34,7
20400	265	33,1	35,4
20800	292	36,5	36,1
21200	310	38,8	36,8

➤ **Ensayo 5**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,0	0,0
400	1	0,1	0,7
800	1	0,1	1,4
1200	1	0,1	2,1
1600	1,5	0,2	2,8

2000	2	0,3	3,5
2400	2	0,3	4,2
2800	2,5	0,3	4,9
3200	4	0,5	5,6
3600	5	0,6	6,3
4000	6	0,8	6,9
4400	8	1,0	7,6
4800	10	1,3	8,3
5200	14	1,8	9,0
5600	16	2,0	9,7
6000	20	2,5	10,4
6400	24	3,0	11,1
6800	27	3,4	11,8
7200	30	3,8	12,5
7600	33	4,1	13,2
8000	36	4,5	13,9
8400	39	4,9	14,6
8800	43	5,4	15,3
9200	47	5,9	16,0
9600	51	6,4	16,7
10000	54	6,8	17,4
10400	59	7,4	18,1
10800	64	8,0	18,8
11200	69	8,6	19,4
11600	74	9,3	20,1
12000	80	10,0	20,8
12400	86	10,8	21,5
12800	92	11,5	22,2
13200	98	12,3	22,9
13600	104	13,0	23,6
14000	110	13,8	24,3
14400	118	14,8	25,0
14800	126	15,8	25,7
15200	132	16,5	26,4
15600	140	17,5	27,1
16000	148	18,5	27,8
16400	156	19,5	28,5
16800	164	20,5	29,2
17200	170	21,3	29,9
17600	180	22,5	30,6

18000	190	23,8	31,3
18400	200	25,0	31,9
18800	212	26,5	32,6
19200	224	28,0	33,3
19600	240	30,0	34,0
20000	260	32,5	34,7
20400	285	35,6	35,4
20800	311	38,9	36,1