

**ESTUDIO EXPERIMENTAL PARA EVALUAR LA RESISTENCIA DEL SISTEMA
DE REFORZAMIENTO DE MUROS EN TAPIA PISADA CON MUROS DE
CONCRETO**

**GERMAN ARVEY PICO FONSECA
JHON TYLOR HERRERA RODRIGUEZ**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2017**

**ESTUDIO EXPERIMENTAL PARA EVALUAR LA RESISTENCIA DEL SISTEMA
DE REFORZAMIENTO DE MUROS EN TAPIA PISADA CON MUROS DE
CONCRETO**

**GERMAN ARVEY PICO FONSECA
JHON TYLOR HERRERA RODRÍGUEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

**Director
P.h.D ALVARO VIVIESCAS JAIMES
Ingeniero Civil**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2017**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Industrial de Santander por permitirme cumplir este logro en mi vida, a cada uno de los docentes que me aportaron conocimiento y valores necesarios para afrontar lo que se me viene en mi carrera profesional.

Al director de tesis, Ing. Álvaro Viviescas Jaimes, al Ing. Rafael Arizmendi Weber, por el apoyo continuo durante la elaboración del presente proyecto y a todo aquel que de una u otra forma colocó su granito de arena en la ejecución del mismo.

JHON TYLOR HERRERA RODRÍGUEZ

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia quiero darle gracias a Dios por ser el guía, maestro y artífice de cada uno de mis proyectos así mismo a mi hermana Sayda Pico, mi queridísima madre Aminta Fonseca y mi Padre Fermín Pico por ser el motivo de inspiración, apoyo y mi ejemplo a seguir durante todo este camino mil gracias por ser esas personas indispensables en mi caminar como joven universitario.

Mencionar a Laura Carolina Arenas la mujer que ha sido mi apoyo, mi compañera, mi amiga y mi novia estos dos últimos años igualmente a cada uno de los miembros de mi familia quienes de una u otra manera han aportado para lograr esta meta que hoy estoy superando.

Agradecimientos especiales Al director de tesis, Ing. Álvaro Viviescas Jaimes, al Ing. Rafael Arizmendi Weber, al ing. Jhon Araque Villamizar por ser el apoyo continuo durante toda la planeación, elaboración y ejecución de este proyecto. Gracias mil gracias a todas las personas que indirectamente o directamente aportaron su granito de arena en este proyecto tan importante Dios los siga bendiciendo.

GERMAN ARVEY PICO FONSECA.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. OBJETIVOS	20
1.1 OBJETIVO GENERAL	20
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
2. MARCO TEÓRICO	21
2.1 SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN EN TAPIA PISADA	21
2.2 VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS ESTRUCTURAS EN TAPIA PISADA	22
3. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE TIERRA Y CONCRETO EMPLEADO	24
3.1 ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV-E-123	24
3.2 ENSAYO DE HUMEDAD INV-E-122	25
3.3 ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG INV-E- 125-126	26
3.4 ENSAYO DE COMPRESIÓN	27
3.4.1 Ensayo de compresión para el material de tierra	27
3.4.2 Ensayo de compresión para el concreto de refuerzo	30
4. METODOLOGÍA	31
4.1 PROCESO CONSTRUCTIVO	32
4.1.1 Construcción de las bases	32
4.1.2 Levantamiento de los muros en tapia pisada	33
4.1.3 Construcción del muro en concreto	35
4.2 MONTAJE DEL ENSAYO	37
4.3 PROTOCOLO DE CARGA	40
4.3.1 Etapa inicial	40
4.3.2 Etapa final	40
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	42
5.1 ENSAYO MURO TÍPICO DE TAPIA PISADA	42

5.1.1 Análisis de falla (Muro no reforzado)	42
5.1.2 Análisis con extensómetros (Muro no reforzado).	44
5.1.3 Análisis con GOM-Correlate (Muro no reforzado).	48
5.2 ENSAYO MURO DE TAPIA PISADA REFORZADO CON UN MURO EN CONCRETO	53
5.2.1 Análisis de falla (Muro reforzado).	53
5.2.2 Análisis con extensómetros (Muro reforzado).	55
5.2.3 Análisis con GOM-Correlate (Muro reforzado).	59
6. CONCLUSIONES	62
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	64
ANEXOS	66

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Iglesia en Tenjo y Convento de Santo Ecce Homo en la zona andina (Construcciones en Tapia Pisada)	21
Figura 2. Edificaciones afectadas por sismos	23
Figura 3. Actuador hidráulico (AV) encargado de aplicar la carga vertical en el muro	31
Figura 4. Actuador hidráulico (AH) encargado de aplicar la carga horizontal en el muro	32
Figura 5. Regla de madera guía	33
Figura 6. Capa de 15 cm de tierra sin apisonar	34
Figura 7. Muro en tapia pisada	34
Figura 8. Muro en tapia pisada con tornillos roscados	35
Figura 9. Parrillado del muro en concreto y amarre con los tornillos de anclaje	36
Figura 10. Vertida de concreto	36
Figura 11. Muro en tapia pisada reforzado con un muro estructural	37
Figura 12. Puente grúa del Edificio Álvaro Beltrán Pinzón	38
Figura 13. Adecuación del muro típico en tapia pisada usando el puente grúa	38
Figura 14. Montaje del muro en tapia pisada	39
Figura 15. Montaje del muro en tapia pisada reforzado con un muro en concreto.	39
Figura 16. Plano de falla diagonal en el muro típico de tapia pisada	43
Figura 17. Imagen del muro en tapia pisada al finalizar el ensayo	44
Figura 18. Imagen de extensómetros en el muro típico en tapia pisada en alturas de 35, 70 y 105 cm	45
Figura 19. Imagen del muro en tapia pisada y los puntos A y B	49
Figura 20. Graficas de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) para los puntos A y B	49

Figura 21. Perfil de desplazamiento entre los puntos A y B para un tiempo de 100 segundos de ensayo	50
Figura 22. Perfil de desplazamiento entre los puntos A y B para un tiempo de 200 segundos de ensayo	51
Figura 23. Concentración de esfuerzos en el muro de tapia pisada	52
Figura 24. Concentración de esfuerzos en el muro de tapia pisada al finalizar el ensayo	52
Figura 25. Plano de falla en el muro de tapia pisada reforzado	54
Figura 26. Imagen del Muro en tapia pisada reforzado al finalizar el ensayo	55
Figura 27. Desprendimiento de base del muro en concreto	55
Figura 28. Imagen de extensómetros en el muro en tapia reforzado en alturas de 35, 70 y 105 cm	56
Figura 29. Pernos A y C en el muro de tapia pisada reforzado	60

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1. Curva granulométrica	24
Grafica 2. Gráfico de % humedad vs semana de elaboración (muro reforzado)	26
Grafica 3. Gráfico de % humedad vs semana de elaboración (muro no reforzado)	26
Grafica 4. Gráfico de humedad vs # de golpes.	27
Grafica 5. Gráfico de carga máx. Vs días (probeta cilíndrica-muro reforzado)	28
Grafica 6. Gráfico de carga máx. Vs días. (probeta cilíndrica- muro sin refuerzo).	28
Grafica 7. Gráfico de carga máx. Vs días. (probeta cúbica- muro reforzado)	29
Grafica 8. Gráfico de carga máx. Vs días. (probeta cúbica- muro no reforzado).	29
Grafica 9. Gráfico de esfuerzo (Psi) vs edad de la muestra (días)	30
Grafica 10. Gráfico de amplitud (mm) vs tiempo (seg)	41
Grafica 11. Gráfico de fuerza (KN) vs desplazamiento (mm).	42
Grafica 12. Gráfico de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg).	43
Grafica 13. Gráfico de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) a un altura 35 cm en el muro de tapia pisada	45
Grafica 14. Gráfico de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) a un altura 70 cm en el muro de tapia pisada	46
Grafica 15. Gráfico de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) a un altura 105 cm en el muro de tapia pisada	46
Grafica 16. Gráficos superpuestas de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) para las diferentes alturas	47
Grafica 17. Perfil de desplazamiento del muro en tapia pisada, para cargas laterales aplicadas de 30, 40 y 50 KN	48
Grafica 18. Gráfico de fuerza (KN) vs desplazamiento (mm)	53
Grafica 19. Gráfico de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg)	54
Grafica 20. Gráfico de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) a un altura 35 en el muro en tapia reforzado	56

Grafica 21. Gráfico de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) a un altura 70 en el muro en tapia reforzado	57
Grafica 22. Gráfico de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) a un altura 105 en el muro en tapia reforzado	57
Grafica 23. Gráficos superpuestas de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) para las diferentes alturas	58
Grafica 24. Perfil de desplazamiento del muro en tapia reforzado, para cargas laterales aplicadas de 30, 40 y 50 KN	59
Grafica 25. Gráficos de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) para los pernos A y C	61

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resultados de humedad (muro reforzado)	25
Tabla 2. Resultados de humedad (muro sin refuerzo)	25
Tabla 3. Resultados de carga máx. Vs días (probeta cilíndrica-Muro reforzado)	27
Tabla 4. Resultados de carga máx. vs días (probeta cilíndrica- muro sin refuerzo)	28
Tabla 5. Resultados de carga máx. vs días (probeta cúbica- muro reforzado)	29
Tabla 6. Resultados de carga máx. vs días (probeta cúbica- muro sin refuerzo)	29
Tabla 7. Resultados de esfuerzo (Psi) vs edad de la muestra (días)	30

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA	67
ANEXO B. ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	68
ANEXO C. LÍMITES DE ATTERBERG	71
ANEXO D. ENSAYOS DE COMPRESIÓN PARA MATERIAL DE TIERRA EMPLEADO	72
ANEXO E. ENSAYO DE COMPRESIÓN AL MATERIAL DE CONCRETO EMPLEADO	74

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO EXPERIMENTAL PARA EVALUAR LA RESISTENCIA DEL SISTEMA DE REFORZAMIENTO DE MUROS EN TAPIA PISADA CON MUROS DE CONCRETO*

AUTORES: HERRERA RODRIGUEZ, Jhon Tylor.
PICO FONSECA, Germán Arvey**

PALABRAS CLAVES: Tapia pisada, carga cíclica, cargas estáticas, muro estructural.

DESCRIPCIÓN

Se presentan aquí los resultados del estudio experimental de la respuesta estructural de dos muros en tapia pisada, un muro típico de tapia pisada y otro reforzado con un muro estructural conociendo como deficiencia fundamental que las edificaciones en tapia pisada son altamente vulnerables a diferentes tipos de acciones a las cuales se ven solicitadas a diario estas estructuras. Para realizarles a estos dos prototipos mencionados un análisis mediante el sometimiento de cargas laterales cíclicas en su plano y cargas verticales estáticas simuladas de manera eficiente por los actuadores hidráulicos que están disponibles por la escuela de ingeniería civil en los laboratorio de estructuras de la Universidad Industrial de Santander. Se presenta su proceso constructivo mostrando las diferentes etapas partiendo desde la selección del material, así mismo su respectiva planificación, creación, y desarrollo tomando como parámetros principales las propiedades de los materiales empleados para su construcción. Para la evaluación del reforzamiento del muro en tapia pisada con el muro estructural, se le realizó un análisis de los diferentes parámetros que relacionaron la respuesta estructural del muro reforzado como solución para mejorar la resistencia de un muro típico en tapia pisada analizando como objetivo principal de esta investigación los diferentes parámetros de comparación tomando como prioridad la respuesta de las gráficas fuerza vs desplazamiento y desplazamiento vs tiempo. Desarrollando como resultado positivo un gran aumento en la resistencia estructural, la capacidad de soporte de carga estructural, mostrando una mejora significativa en el tiempo de la carga.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: P.h.D. Álvaro Viviescas Jaimes.

SUMMARY

TITLE: EXPERIMENTAL STUDY TO EVALUATE THE RESISTANCE OF THE SYSTEM OF REINFORCEMENT OF WALLS IN TAPIA FLOOR WITH CONCRETE WALLS.*

AUTHORS: HERRERA RODRIGUEZ, Jhon Tylor.
PICO FONSECA, Germán Arvey**

KEYWORDS: Tapia pisada, cyclic loads, static loads, structural wall.

DESCRIPTION

We present here the results of the experimental study of the structural response of two walls in stepped wall, a typical wall of stepped wall and another reinforced with a structural wall knowing as fundamental deficiency that the buildings in stepped wall are highly vulnerable to different types of actions to which these structures are requested daily. To perform these two prototypes an analysis by subjecting cyclic lateral loads in their plane and static vertical loads simulated efficiently by the hydraulic actuators that are available by the school of civil engineering in the structures laboratory of the Industrial University of Santander. Its construction process is presented showing the different stages starting from the selection of the material, as well as its respective planning, creation, and development, taking as main parameters the properties of the materials used for its construction. For the evaluation of the reinforcement of the wall in stepped wall with the structural wall, it was made an analysis of the different parameters that related the structural response of the reinforced wall as a solution to improve the resistance of a typical wall in stepped wall analyzing as main objective of this investigation the different parameters of comparison taking as a priority the response of the graphs force vs displacement and displacement vs time. Developing as a positive result a large increase in structural strength, structural load bearing capacity, showing a significant improvement in load time.

* Degree Work.

** Faculty of Physico-Mechanical Engineering. Civil Engineering School. Director: P.h.D Alvaro Viviescas Jaimes

INTRODUCCIÓN

La construcción en tierra es una tradición histórica en nuestra sociedad que se remonta a cerca de cuatro siglos. La técnica del barro a nivel constructivo posee varias ventajas, las paredes, generalmente gruesas, protegen del frío y el calor, la técnica constructiva varía mínimamente de una región a otra y su mano de obra no requiere especialización generando empleo en cualquier lugar, además, es un tipo de construcción que aprovecha los materiales locales. En Colombia se han encontrado contratos de construcción de 139 iglesias hasta el siglo XVII, sin embargo solo se han declarado 22 como monumentos, dando como resultado un 18% de inmuebles protegidos, siendo el resto desconocido su estado y localización¹

Las construcciones en tapia pisada principalmente presentan problemas debido a su poca cohesión estructural, erosión y desintegración, además, el agua puede generar problemas de humedad en los muros y por consiguiente pérdida de resistencia en los mismos². Lo mencionado anteriormente trae como consecuencia una tendencia de las edificaciones en tapia pisada a colapsar en los terremotos, y por lo tanto la importancia de encontrar sistemas de refuerzo para estas estructuras ante la presencia de estos desastres naturales.

Actualmente se han desarrollado manuales, artículos y diversos textos donde se refleja de una u otra forma la vulnerabilidad sísmica que las estructuras patrimoniales poseen, ofreciendo diferentes tipos de alternativas de reforzamiento como mallas de acero, elementos confinantes de madera, entre otros, pero la importancia de este tipo de estructuras lleva a no finalizar la búsqueda de otras alternativas de reforzamiento. El objetivo de este documento es la evaluación del

¹ LOPEZ PEREZ, Cecilia (2010). Rastros y rostros de las construcciones en tierra cruda. 9p. Universidad del Oriente. Facultad de construcciones.

² Gómez, V., López, C., & Ruiz, D. (2016). Rehabilitación sísmica de edificaciones históricas en tapia pisada: estudio de caso de capillas doctrineras reforzadas con malla de acero y madera de confinamiento. *Informes de la Construcción*, 68(541), 140.

reforzamiento de muros en tapia pisada con muros estructurales, mostrando los resultados de la evaluación experimental y comparación de las respuestas estructurales de un muro en tapia pisada y un muro en tapia pisada reforzado con un muro estructural ante la acción de cargas laterales cíclicas en su plano y cargas estáticas verticales sobre los mismos, cargas aplicadas mediante actuadores en un ensayo.

En el contenido de este escrito se presentan gráficos de fuerza vs desplazamiento y desplazamiento vs tiempo para un muro en tapia pisada y un muro en tapia reforzado con un muro estructural, los cuales brindaron la información necesaria para evaluar el sistema de reforzamiento propuesto. El uso de muros en concreto como refuerzo a muros en tapia pisada se propone para edificaciones consideradas monumentos nacionales, construcciones existentes en nuestro medio.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el reforzamiento de un muro en tapia pisada con un muro estructural.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar gráficamente la respuesta estructural de un muro típico en tapia pisada cuando se le somete a una carga horizontal cíclica en su plano y una fuerza vertical estática, teniendo como parámetros el desplazamiento lateral y el tiempo transcurrido durante la aplicación de las mismas.

Registrar experimentalmente la respuesta estructural de un muro en tapia pisada reforzado con un muro estructural cuando se le somete a una carga horizontal cíclica en su plano y una fuerza vertical estática, teniendo como parámetro el desplazamiento lateral y el tiempo transcurrido durante la aplicación de las mismas.

Comparar las respuestas estructurales de los muros ensayados mediante el uso de gráficos de fuerza vs desplazamiento, desplazamiento vs tiempo, además de sus patrones de agrietamiento, de esta manera se evaluará el rendimiento del muro de concreto como refuerzo al muro en tapia pisada.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN EN TAPIA PISADA

La Tapia Pisada es un procedimiento por medio del cual se construyeron y construyen edificaciones en tierra, sin sostenerlas con piezas de madera u otros materiales. Este método consiste en apisonar tierra preparada capa por capa, en medio de dos tablones con el espesor normal de los muros de piedra. Apisonada de esta manera, la tierra se liga, toma consistencia y forma una masa homogénea, que puede ser elevada hasta la altura necesaria para una vivienda o construcción³.

Figura 1. Iglesia en Tenjo y Convento de Santo Ecce Homo en la zona andina (Construcciones en Tapia Pisada)



Fuente: Rastros y rostros de las construcciones en tierra cruda. LOPEZ PEREZ, Cecilia.

La técnica del barro a nivel constructivo posee varias ventajas, el material sólo requiere la energía solar para su uso, es reciclable y por lo tanto es un material ecológico. Asimismo, la técnica no exige mucha tecnificación, lo cual permite mano de obra no especializada y empleo en cualquier lugar⁴

³ Gómez, D., Helena, L., González, A., Yepes, C., Ancizar, F., García, H., & Amparo, G. (2014). Construcción de muros en tapia y bahareque.

⁴ LOPEZ PEREZ, Cecilia (2010). Rastros y rostros de las construcciones en tierra cruda. 9p. Universidad del Oriente. Facultad de construcciones.

2.2 VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS ESTRUCTURAS EN TAPIA PISADA

En zonas de alta amenaza sísmica, la alta vulnerabilidad de las construcciones en tierra ha sido claramente expuesta en muchas regiones y en diferentes escenarios, pues ante terremotos moderados ha provocado colapso y pérdida de vidas humanas debido a su deficiente comportamiento sísmico⁵.

Algunas de las características constructivas que contribuyen a su vulnerabilidad son: la ausencia de un diafragma rígido de entrepiso, conexiones deficientes entre el sistema de cubierta o entrepiso y los muros portantes, entrepisos y techos demasiado pesados, ausencia de reforzamiento en muros, mala calidad de los materiales (adicional a las deficientes propiedades mecánicas de la tierra a tracción y cortante), aberturas de puertas y ventanas demasiado grandes y mal distribuidas, cimentaciones deficientes⁶, su gran masa, las fisuras producidas por la contracción del secado⁷.

⁵ AFANADOR GARCIA, Nelson. CARRASCAL DELGADO, Mayerly. BAYONA CHINCHILLA, Marvin. Experimentación, comportamiento y modelación de la tapia pisada. Vol. 22 (Dic, 2013); p 47-59.

⁶ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA – AIS. FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS - FOPAE Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales (Tercera Edición-2011).

⁷ NAVARRO GARCIA, Oscar. QUIROZ RAMIREZ, Erison. Reparación y reforzamiento de construcciones informales. Bucaramanga, 2012, 128p. Trabajo de investigación. Universidad industrial de Santander. Facultad físico mecánica. Ingeniería civil.

Figura 2. Edificaciones afectadas por sismos



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

3.2 ENSAYO DE HUMEDAD INV-E-122

Este ensayo proporciona el contenido de humedad en la muestra, para nuestro caso se realizaron distintos ensayos en distintas semanas para cada muro, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 1. Resultados de humedad (muro reforzado)

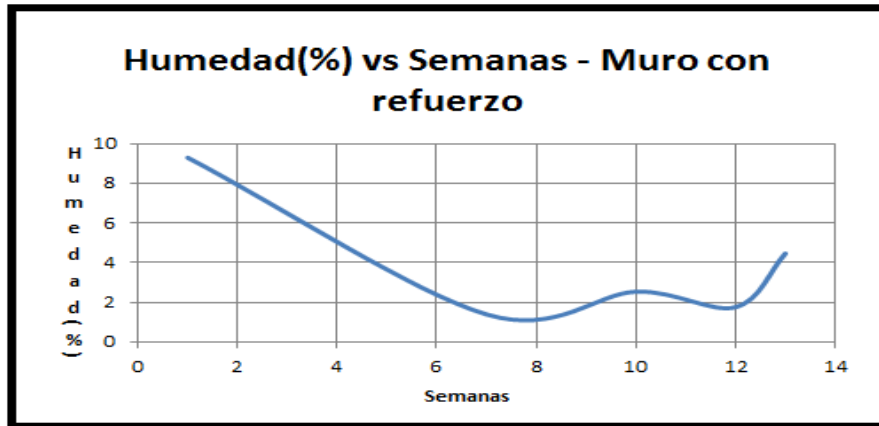
Fecha	Semana	humedad (%) muro con refuerzo
15 de Febrero	1	9,31
27 de Marzo	7	1,39
20 de Abril	10	2,54
05 de Mayo	12	1,76
10 de Mayo	13	4,47

Tabla 2. Resultados de humedad (muro sin refuerzo)

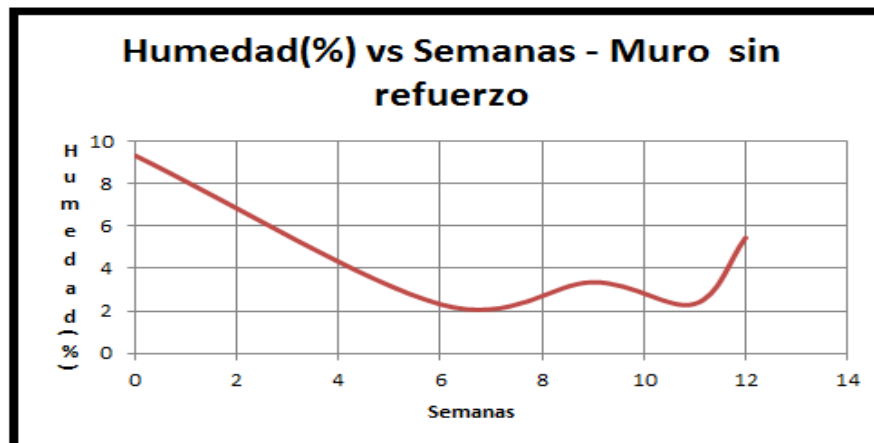
Fecha	Semana	humedad (%) muro sin refuerzo
15 de Febrero	0	9,31
27 de Marzo	6	2,32
20 de Abril	9	3,36
05 de Mayo	11	2,34
10 de Mayo	12	5,45

Con los resultados de humedad obtenidos para las distintas semanas, se obtuvieron las siguientes gráficas de humedad (%) vs semanas.

Grafica 2. Gráfico de % humedad vs semana de elaboración (muro reforzado)



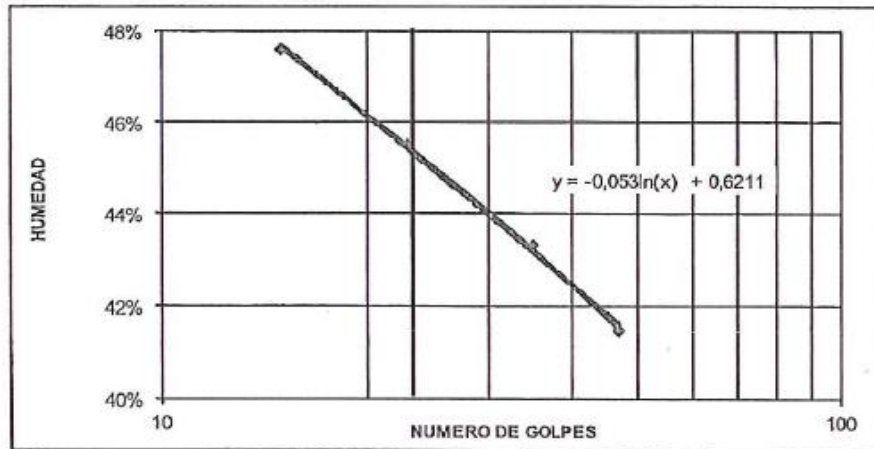
Grafica 3. Gráfico de % humedad vs semana de elaboración (muro no reforzado)



3.3 ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG INV-E- 125-126

El material de tierra empleado en la construcción según el ensayo de Límites de Atterberg elaborado por el Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Universidad Industrial de Santander muestra un límite líquido de 45%, un límite plástico de 26% y por consiguiente un índice de plasticidad de 19%

Grafica 4. Gráfico de humedad vs # de golpes.



Fuente: Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Universidad Industrial de Santander.

3.4 ENSAYO DE COMPRESIÓN

El ensayo de compresión es muy importante para determinar la resistencia de un material al someterse a esfuerzos de compresión.

3.4.1 Ensayo de compresión para el material de tierra. A continuación se muestran los resultados de carga máxima para el material de tierra empleado, haciendo uso tanto de probetas cilíndricas como cúbicas.

Tabla 3. Resultados de carga máx. Vs días (probeta cilíndrica-Muro reforzado)

días	Carga máx. (Kgf)
1	269
7	491,6
14	810,9

Grafica 5. Gráfico de carga máx. Vs días (probeta cilíndrica-muro reforzado)

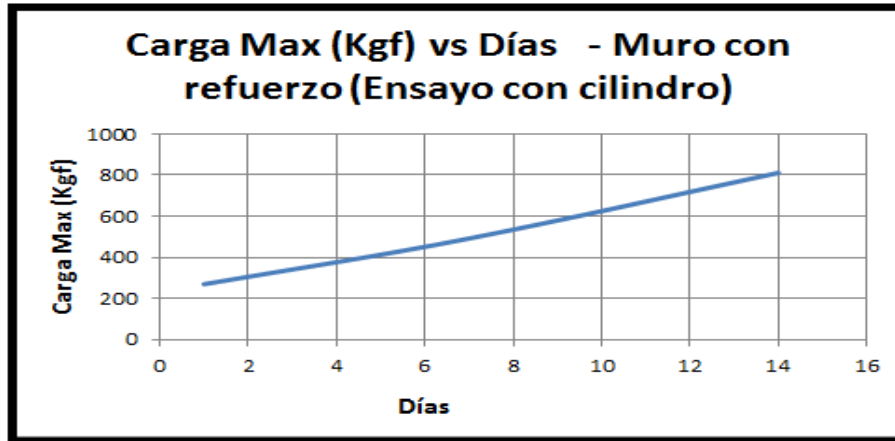


Tabla 4. Resultados de carga máx. vs días (probeta cilíndrica- muro sin refuerzo)

Días	Carga Max (Kgf)
1	86,7
7	256,1
14	343,7

Grafica 6. Gráfico de carga máx. Vs días. (probeta cilíndrica- muro sin refuerzo).

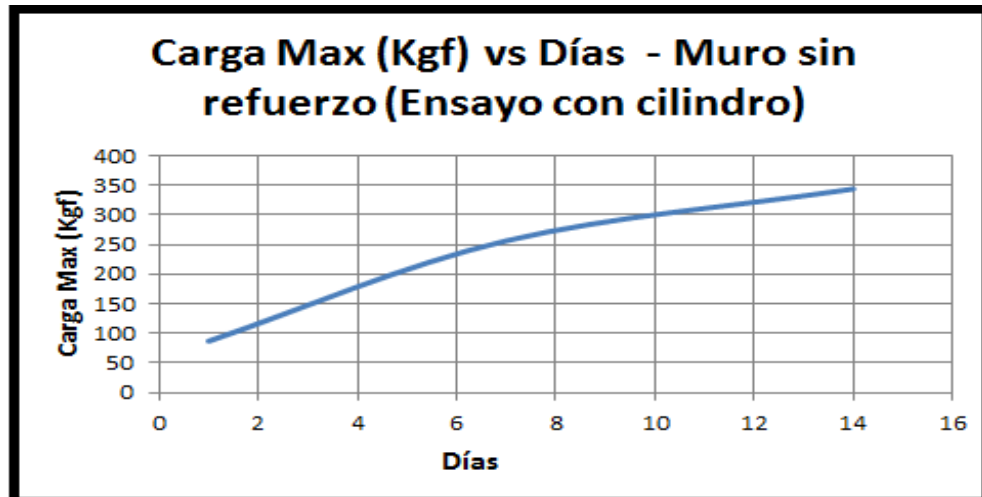


Tabla 5. Resultados de carga máx. vs días (probeta cúbica- muro reforzado)

Días	Carga Máx. (Kgf)
83	80,7
90	947,5

Grafica 7. Gráfico de carga máx. Vs días. (probeta cúbica- muro reforzado)

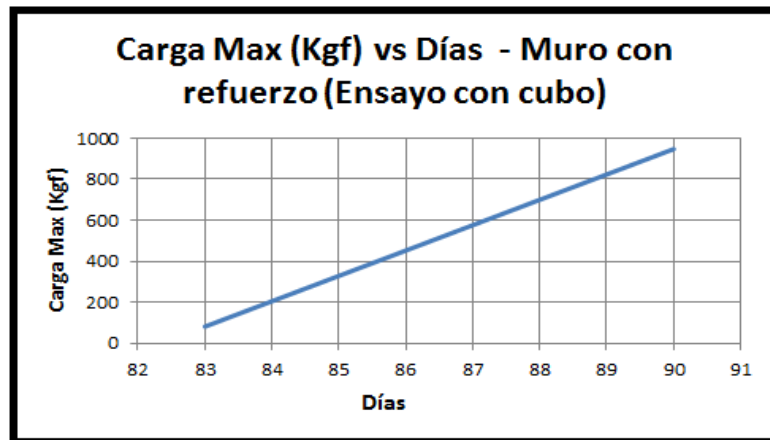
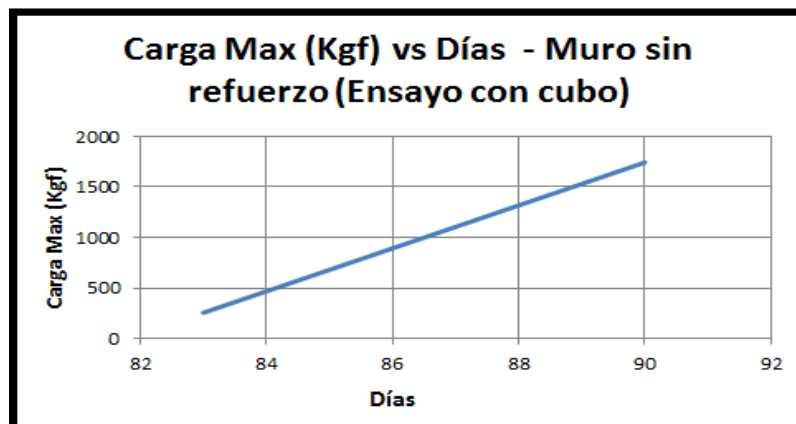


Tabla 6. Resultados de carga máx. vs días (probeta cúbica- muro sin refuerzo)

Días	Carga Máx. (Kgf)
83	256,1
90	1743,15

Grafica 8. Gráfico de carga máx. Vs días. (probeta cúbica- muro no reforzado).

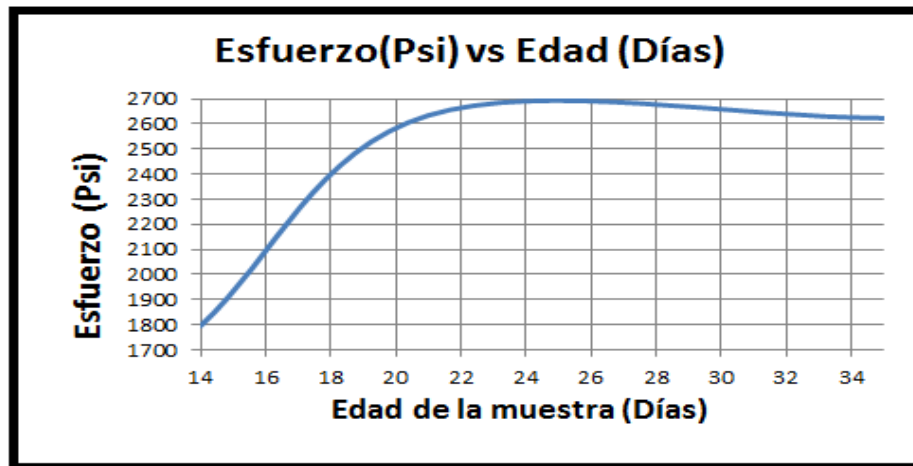


3.4.2 Ensayo de compresión para el concreto de refuerzo. Para el concreto de refuerzo se obtuvieron esfuerzos de compresión para muestras de 14, 21 y 35 días de edad, tomando como referencia la norma NTC 673 del 2010.

Tabla 7. Resultados de esfuerzo (Psi) vs edad de la muestra (días)

Edad (Días)	Esfuerzo (Psi)
14	1795
21	2634
35	2623

Grafica 9. Gráfico de esfuerzo (Psi) vs edad de la muestra (días)



4. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se describe el proceso constructivo, además, el procedimiento de ensayo en el laboratorio, cuyo objetivo fue determinar y comparar el comportamiento estructural de un muro en tapia pisada convencional tomado como patrón de referencia y un muro en tapia pisada reforzado con un muro en concreto, sometidos a una fuerza horizontal cíclica en su plano sumada a una fuerza vertical estática constante.

Se aplicó a cada muro una carga horizontal cíclica por medio de un actuador hidráulico (AH), esta con el fin de simular las cargas producidas por un evento sísmico a los muros de tapia pisada. La fuerza vertical estática aplicada a los muros representa la carga ejercida por un piso inmediatamente superior, la cual fue simulada por un actuador hidráulico (AV) sumada a la carga total producida por concepto de herrajes y tensión de cables estabilizadores.

Figura 3. Actuador hidráulico (AV) encargado de aplicar la carga vertical en el muro



Figura 4. Actuador hidráulico (AH) encargado de aplicar la carga horizontal en el muro



Se construyeron dos muros con sus respectivas bases de concreto estructural que soportan el peso de los mismos y bases llamadas en este proyecto bases superiores, ya enunciadas anteriormente. El primero, es un muro en tapia pisada con dimensiones de 0.50x1.60x1.05 m, el segundo un muro en tapia pisada reforzado con un muro estructural, este anclado mediante tornillos roscados 3/8" separados 40cm en sentido vertical y horizontal, con dimensiones de 0.45x1.60x1.00m y 0.05x1.60x1.00m para tapia concreto respectivamente (Las dimensiones anteriores no tienen en cuenta la parte empotrada en las bases).

4.1 PROCESO CONSTRUCTIVO

Para la construcción de los muros se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

4.1.1 Construcción de las bases. Luego de la caracterización del material de tierra se construyeron las bases que soportaron los muros de estudio, estas con dimensiones de 2.00x0.70x0.30m, teniendo en cuenta un hueco de 1.60x0.50x0.20 m para el levantamiento de los muros.

4.1.2 Levantamiento de los muros en tapia pisada. Con las bases construidas y las formaletas armadas sobre estas, se usó la siguiente técnica para elaborar los muros en tapia, verter una capa 15 cm de tierra y apisonarla hasta obtener una capa equivalente a 10 cm, usando una regla de madera guía marcada cada 5 cm.

Figura 5. Regla de madera guía



Figura 6. Capa de 15 cm de tierra sin apisonar

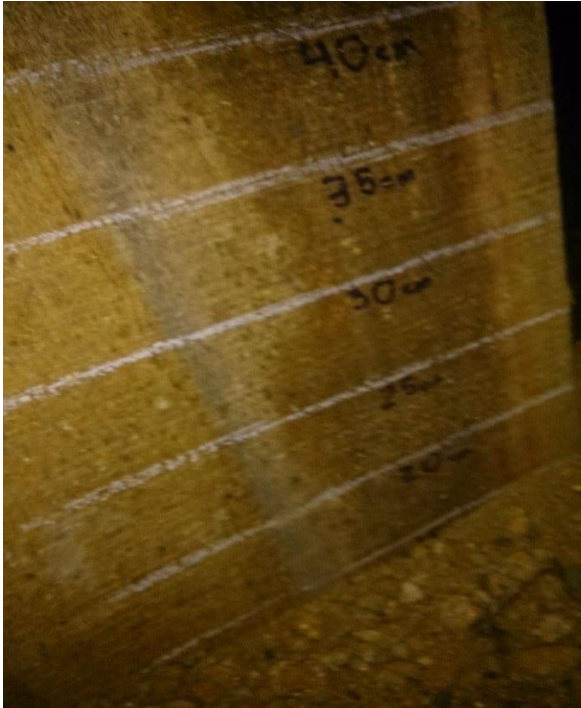


Figura 7. Muro en tapia pisada



4.1.3 Construcción del muro en concreto. Posterior al desencofrado del muro en tapia pisada de 45 cm de espesor se perforaron los agujeros y se introdujeron cada uno de los tornillos con rosca de 3/8" separados 40cm en sentido lateral y vertical, los cuales se les adiciono Calicanto (Mezcla entre Cal y arena con una relación 2:1) en sus estrías para el ligado con el muro.

Figura 8. Muro en tapia pisada con tornillos roscados



Para el refuerzo del muro en concreto se usó un parrillado con varillas de 3/8" separadas cada 10 cm, amarrado con un dobléz de 20 cm de los tornillos de anclaje. Finalmente se montó la formaleta y se vació concreto de 21MPa.

Figura 9. Parrillado del muro en concreto y amarre con los tornillos de anclaje



Figura 10. Vertida de concreto



La fundida de las bases superiores fue el último paso en el proceso constructivo de los muros de estudio, estos contaron con una geometría idéntica a las bases de soporte.

Figura 11. Muro en tapia pisada reforzado con un muro estructural



4.2 MONTAJE DEL ENSAYO

Los muros fueron ensayados en el Edificio Álvaro Beltrán Pinzón en la Universidad Industrial de Santander, debido a que la construcción de estos no se ejecutó en el lugar de los ensayos estos debieron ser transportados con el puente grúa del laboratorio.

Figura 12. Puesto grúa del Edificio Álvaro Beltrán Pinzón



Figura 13. Adecuación del muro típico en tapia pisada usando el puente grúa



A continuación se muestran los muros en el momento de su ensayo, donde se observa los actuadores hidráulicos ejerciendo las respectivas cargas sobre los muros por medio de la base superior.

Figura 14. Montaje del muro en tapia pisada



Figura 15. Montaje del muro en tapia pisada reforzado con un muro en concreto.



4.3 PROTOCOLO DE CARGA

Para la carga horizontal cíclica el control fue por desplazamiento, empleando los siguientes parámetros:

4.3.1 Etapa inicial

Frecuencia: 0,1 Hz

Amplitud inicial: 0,2 mm

Incremento de amplitud: 0,2 mm (hasta llegar a 1mm).

Duración de la amplitud en cada etapa de 3 ciclos.

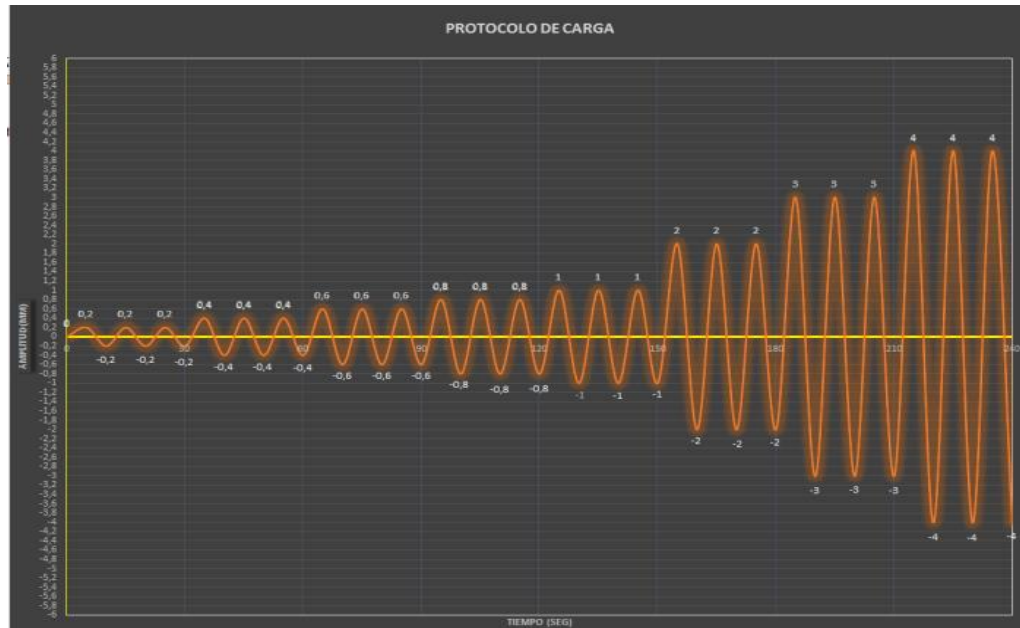
4.3.2 Etapa final

Amplitud inicial: 1 mm

Incremento de amplitud: 1 mm (hasta finalizar).

A continuación se muestra gráficamente el protocolo de carga utilizado.

Grafica 10. Gráfico de amplitud (mm) vs tiempo (seg)



Para el anterior protocolo de carga se tomó los criterios de la investigación “First exploratory study on dynamic characteristics of rammed earth building⁸”

La carga vertical estática fue de 33.9 KN durante todo el ensayo, de los cuales 30.5 KN fueron aplicados por el actuador hidráulico (AV), sumados a la carga de 3.4 KN ejercida por concepto de herrajes y tensión de cables estabilizadores.

⁸ Bui, Q. B., Hans, S., Morel, J. C., & Do, A. P. (2011). First exploratory study on dynamic characteristics of rammed earth buildings. *Engineering Structures*, 33(12), 3690-3695.

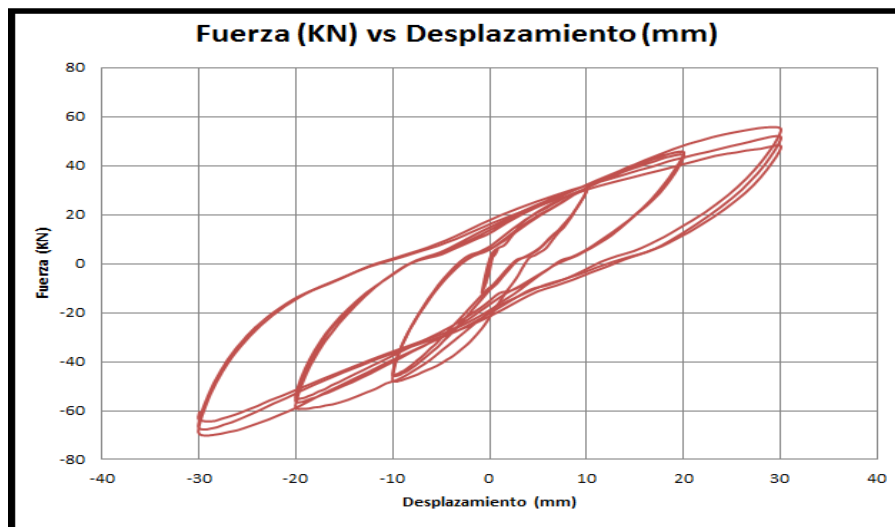
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 ENSAYO MURO TÍPICO DE TAPIA PISADA

5.1.1 Análisis de falla (Muro no reforzado). Inicialmente se presentan grietas leves en la parte inferior del muro al lado opuesto de la aplicación de la carga lateral, posteriormente se genera una grieta diagonal en la parte baja de la aplicación del actuador hidráulico (AH), la cual fue prolongándose hasta formar el primer plano de falla en el muro, con el transcurso del tiempo en el ensayo las primeras grietas se extendieron hasta formar otra superficie de falla, después de 3 minutos y 28 segundos el muro falla por cortante y se da por terminado el ensayo, registrando un desplazamiento lateral máximo de 30.1 mm y una carga lateral máxima aplicada de 55.7 KN.

Con los valores de desplazamiento, fuerza y tiempo obtenidos en el registro del actuador hidráulico (AH) se elaboraron las siguientes graficas de fuerza vs desplazamiento y desplazamiento vs tiempo.

Grafica 11. Gráfico de fuerza (KN) vs desplazamiento (mm).



Grafica 12. Gráfico de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg).

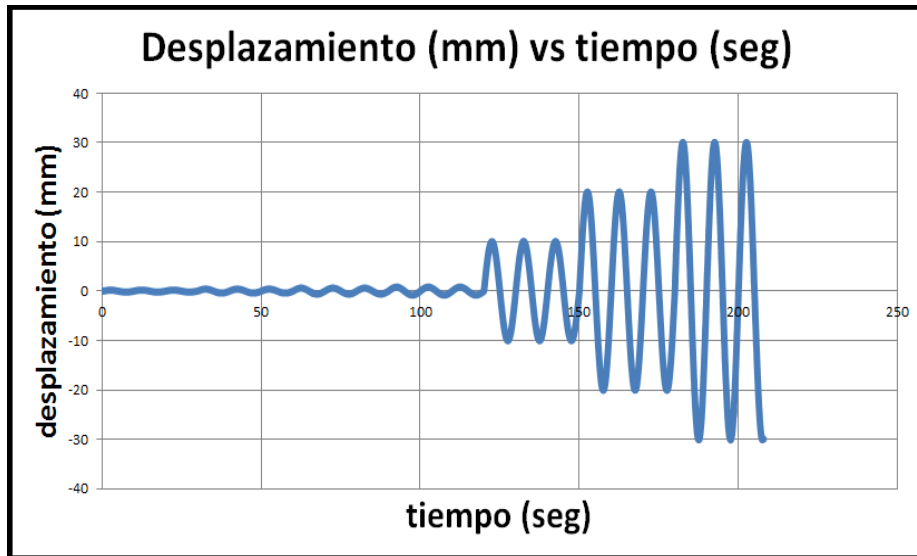


Figura 16. Plano de falla diagonal en el muro típico de tapia pisada



Figura 17. Imagen del muro en tapia pisada al finalizar el ensayo



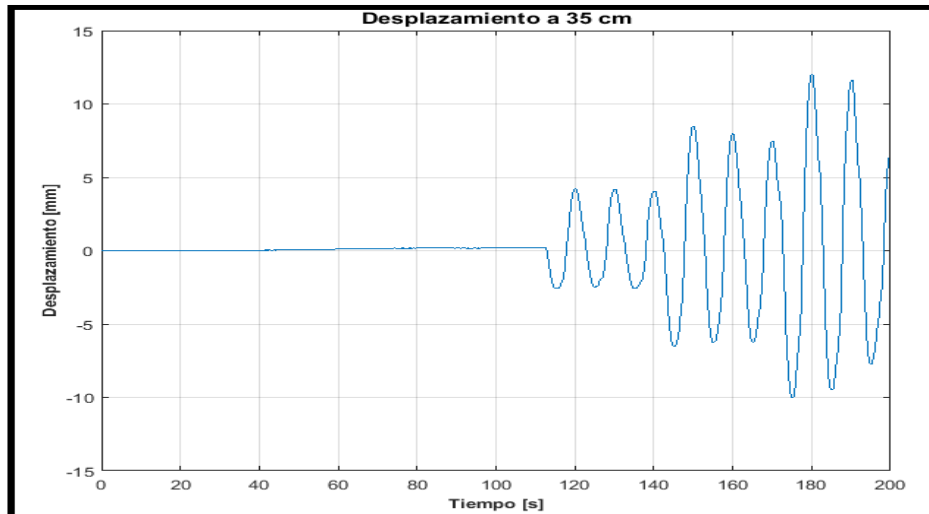
5.1.2 Análisis con extensómetros (Muro no reforzado). Por medio de extensómetros ubicados en alturas de 35, 70 y 105 centímetros, medidos a partir de la cara superior de la base de soporte del muro típico en tapia pisada, se logró obtener curvas de desplazamiento vs tiempo para las distintas alturas.

Figura 18. Imagen de extensómetros en el muro típico en tapia pisada en alturas de 35, 70 y 105 cm

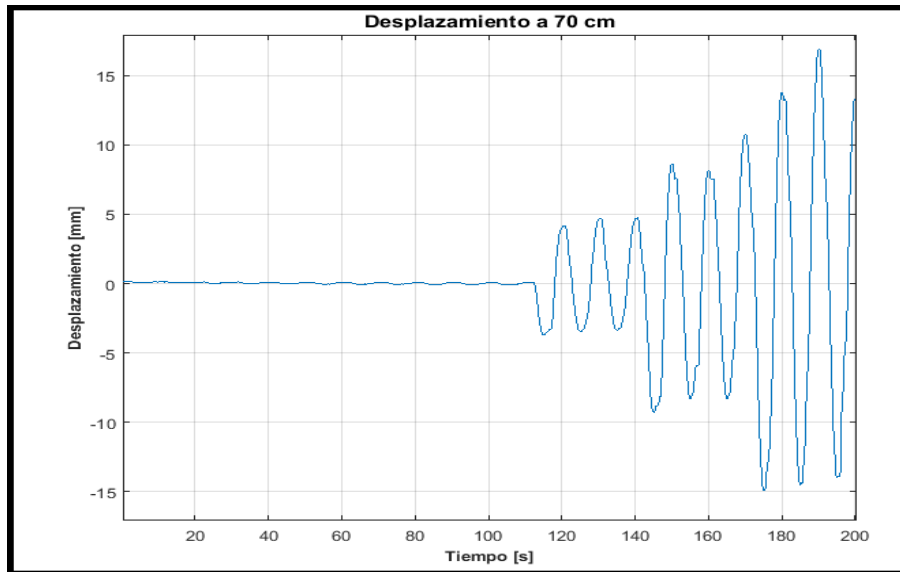


En las graficas 13, 14 y 15 se observa la gráfica de desplazamiento vs tiempo para cada altura del muro evaluada a partir de los extensómetros. Las distintas gráficas muestran desplazamientos máximos de 12, 17 y 22.5 mm para una altura del muro de 35, 70 y 105 cm respectivamente.

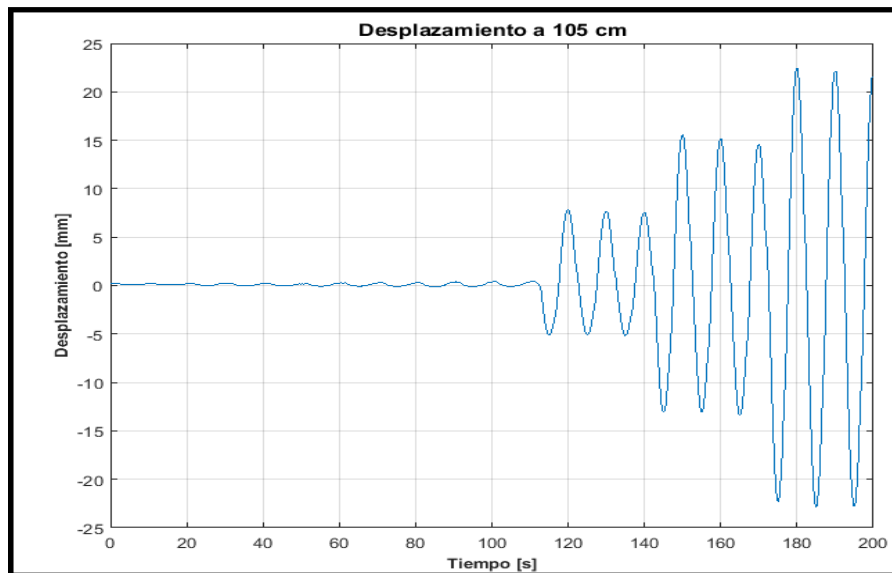
Grafica 13. Gráfico de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) a un altura 35 cm en el muro de tapia pisada



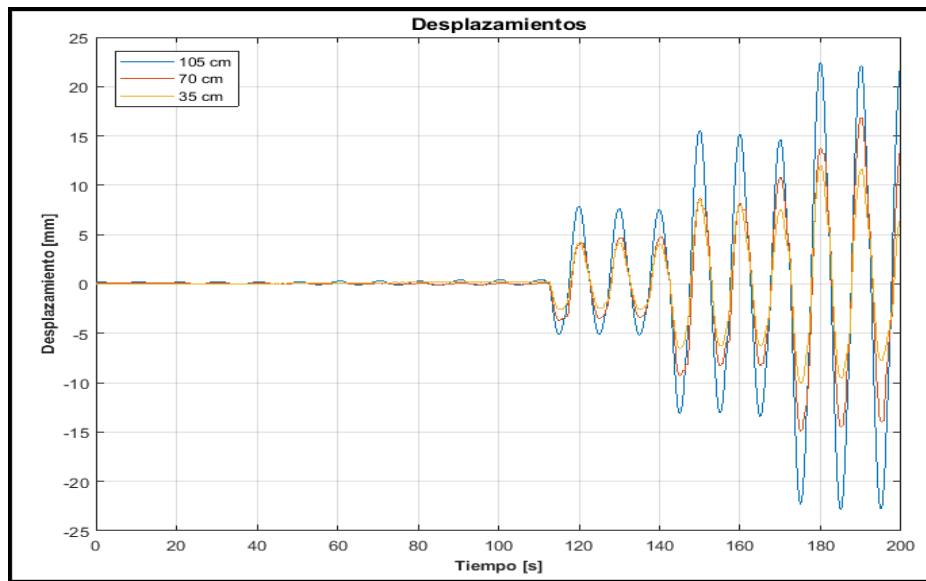
Grafica 14. Gráfico de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) a un altura 70 cm en el muro de tapia pisada



Grafica 15. Gráfico de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) a un altura 105 cm en el muro de tapia pisada

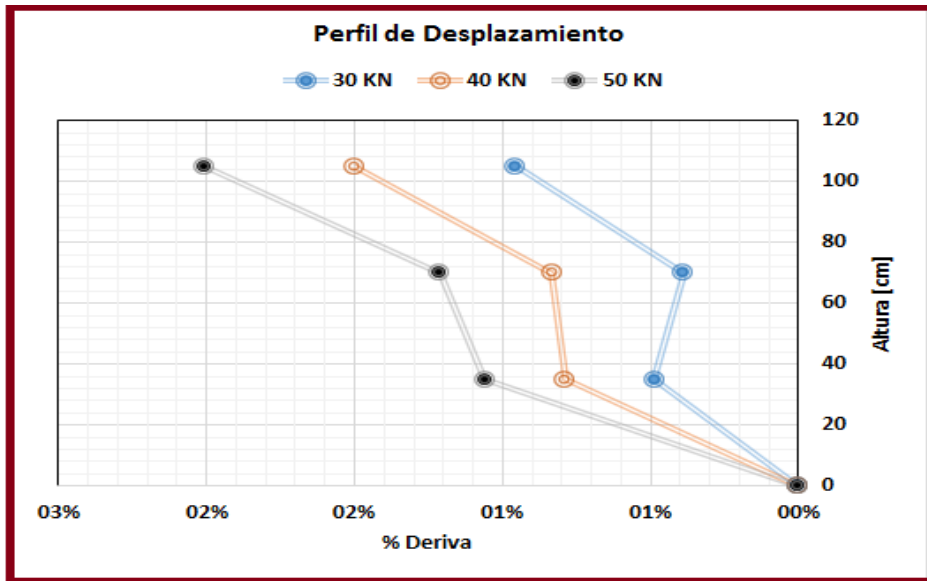


Grafica 16. Gráficos superpuestas de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) para las diferentes alturas



Con los valores registrados en el actuador hidráulico (AH) y los datos de desplazamiento generados a partir de los extensómetros, además, suponiendo desplazamientos iguales en los registros del actuador y el extensómetro ubicado a 105 cm de altura en el muro, se obtuvo la curva de Altura del muro (cm) vs % deriva (Perfil de desplazamiento), teniendo en cuenta que la altura máxima del muro en tapia es de 1.05 metros.

Grafica 17. Perfil de desplazamiento del muro en tapia pisada, para cargas laterales aplicadas de 30, 40 y 50 KN



El anterior Perfil de desplazamiento muestra un comportamiento semejante para las diferentes cargas de análisis, donde se evidencia en la parte baja una pendiente menor, que aumenta considerablemente entre 35 y 70 cm, retomando una pendiente similar a la inicial en la parte alta del muro.

5.1.3 Análisis con GOM-Correlate (Muro no reforzado). La elaboración de un video a una cara perpendicular al plano del muro en tapia pisada durante todo el ensayo, permitió realizar la técnica DIC (Correlación de imágenes digitales) mediante el software libre GOM-Correlate 2017, obteniendo el desplazamiento de cada punto en el muro de tapia durante todo el ensayo, para un análisis detallado se tomaron los puntos A y B ubicados en el muro en tapia pisada como se muestra en la figura 19, para los cuales se generaron las gráficas de desplazamiento vs tiempo mostradas en la figura 20.

Figura 19. Imagen del muro en tapia pisada y los puntos A y B

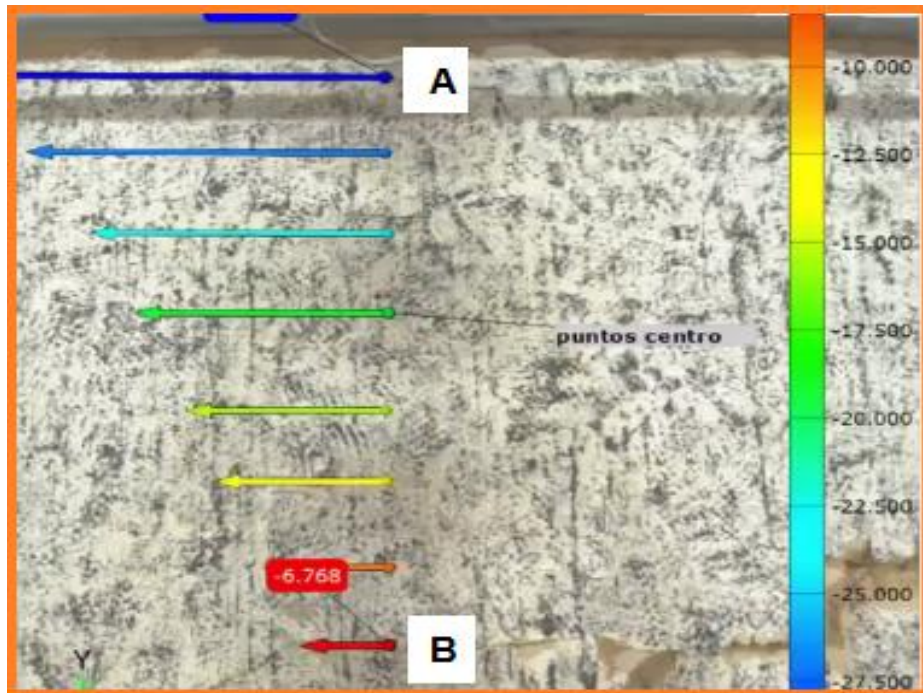
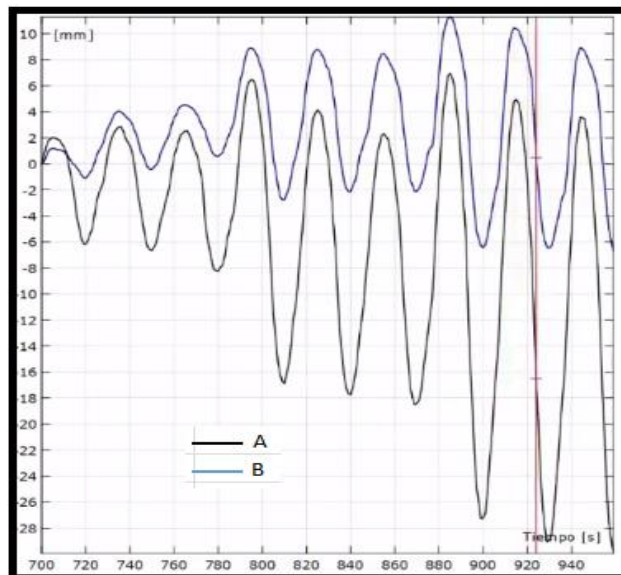


Figura 20. Graficas de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) para los puntos A y B



El análisis del desplazamiento de diferentes puntos entre A y B forma perfiles de desplazamiento para cualquier tiempo en el transcurso del ensayo, las figuras 20 y

21 muestran el perfil de desplazamiento para un tiempo de ensayo de 100 y 200 segundos respectivamente.

Figura 21. Perfil de desplazamiento entre los puntos A y B para un tiempo de 100 segundos de ensayo

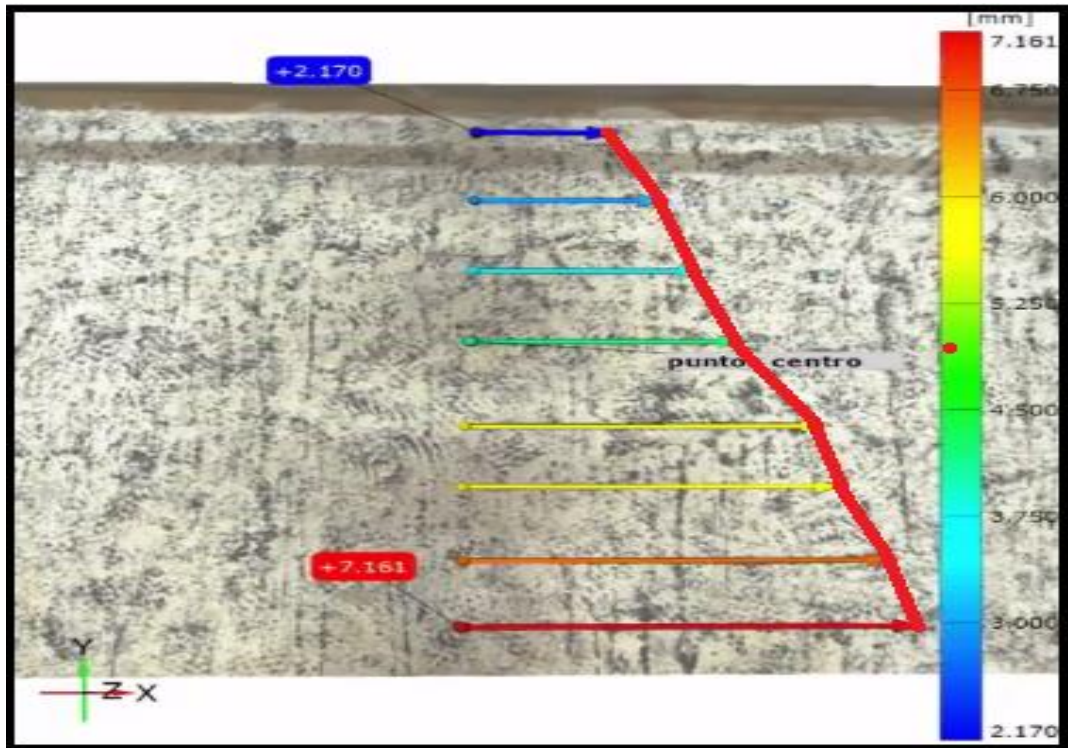
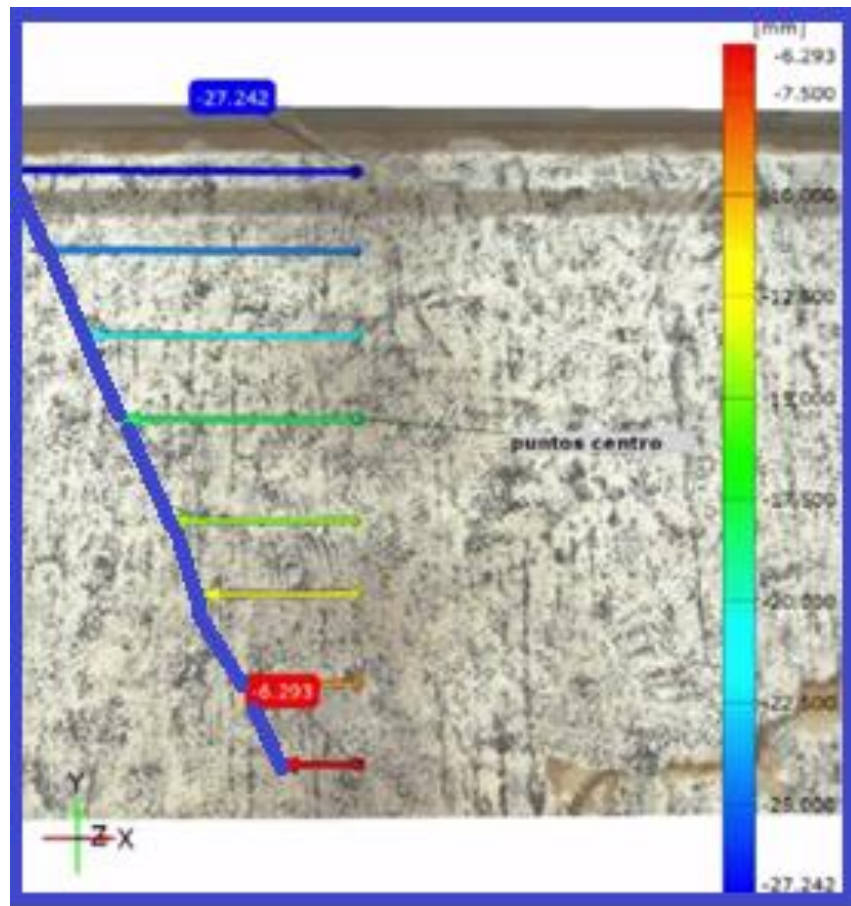
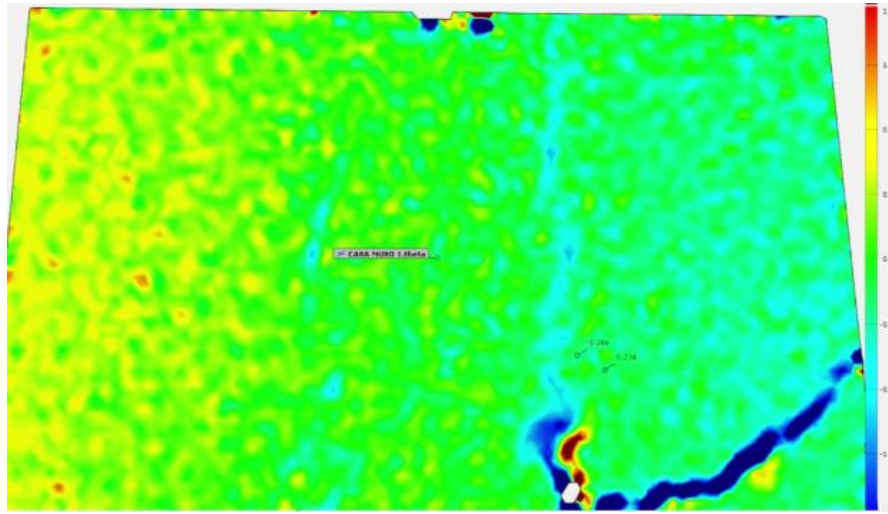


Figura 22. Perfil de desplazamiento entre los puntos A y B para un tiempo de 200 segundos de ensayo



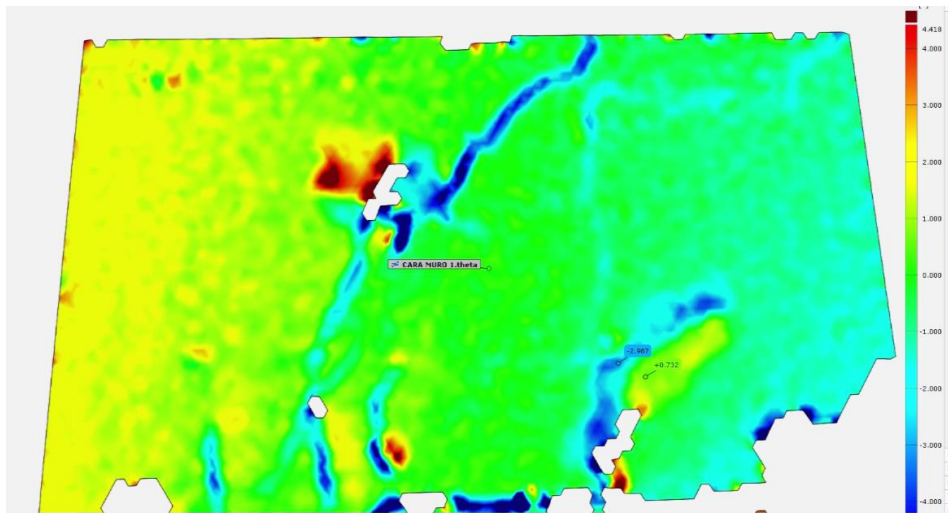
En la siguiente gráfica obtenida por medio de GOM-Correlate se muestra la concentración de esfuerzos de compresión (Color azul) segundos antes de generarse el primer plano de falla.

Figura 23. Concentración de esfuerzos en el muro de tapia pisada



En la figura 24 se observa la concentración de esfuerzos en el muro típico en tapia pisada justo al finalizar el ensayo, donde la escala roja representa esfuerzos a tensión y la escala azul representa esfuerzos a compresión.

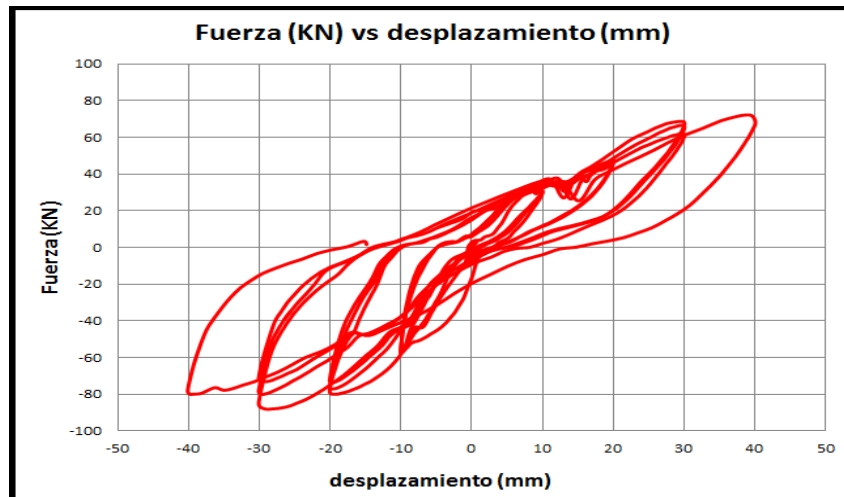
Figura 24. Concentración de esfuerzos en el muro de tapia pisada al finalizar el ensayo



5.2 ENSAYO MURO DE TAPIA PISADA REFORZADO CON UN MURO EN CONCRETO

5.2.1 Análisis de falla (Muro reforzado). Las primeras grietas físicamente notorias fueron grietas horizontales en el centro del muro, las cuales no lograron prolongarse ni generar daños significativos al muro durante todo el ensayo. El muro empieza a presentar grietas en sus costados inferiores, en uno de ellos las grietas se prolongan en el transcurso del ensayo hasta generar el primer plano de falla, posteriormente en el otro las grietas se extienden en el muro hasta encontrar el primer plano de falla, formando una superficie de falla que atraviesa todo el muro en tapia, al cabo de 3 minutos y 40 segundos se da por finalizado el ensayo con un desplazamiento máximo de 40.1 mm y una carga lateral máxima aplicada de 72.2 KN. La falla que presentó el muro en tapia pisada fue por tracción, el muro en concreto no mostró ningún daño visible durante todo el ensayo pero fallo por desprendimiento de la base. Con los valores de desplazamiento, fuerza y tiempo obtenidos en el registro del actuador hidráulico (AH) se elaboraron las siguientes graficas de fuerza vs desplazamiento y desplazamiento vs tiempo.

Grafica 18. Gráfico de fuerza (KN) vs desplazamiento (mm)



Grafica 19. Gráfico de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg)

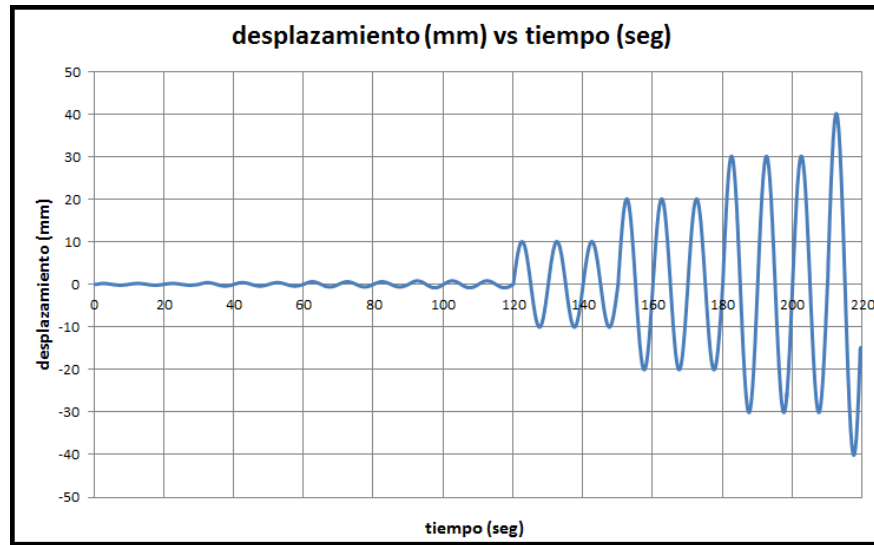


Figura 25. Plano de falla en el muro de tapia pisada reforzado



Figura 26. Imagen del Muro en tapia pisada reforzado al finalizar el ensayo



Figura 27. Desprendimiento de base del muro en concreto



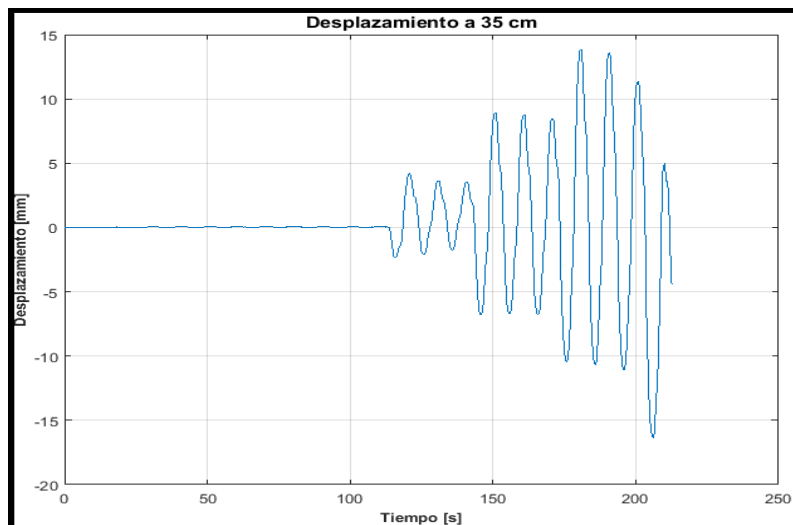
5.2.2 Análisis con extensómetros (Muro reforzado). Gracias a extensómetros ubicados en alturas de 35, 70 y 105 centímetros en el muro en tapia reforzado, se obtuvieron las siguientes curvas de desplazamiento vs tiempo para las distintas alturas mencionadas.

Figura 28. Imagen de extensómetros en el muro en tapia reforzado en alturas de 35, 70 y 105 cm

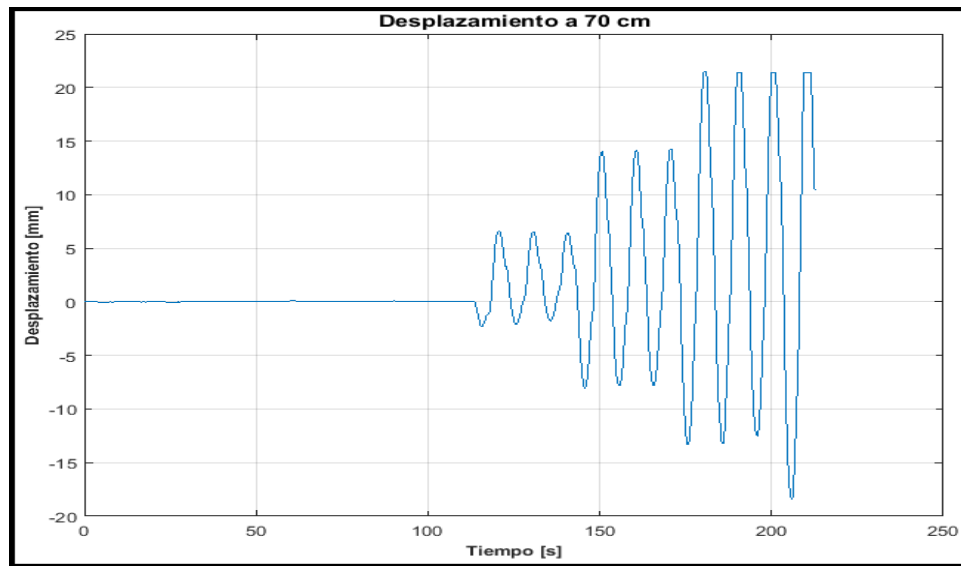


Las siguientes gráficas de desplazamiento vs tiempo para las distintas alturas analizadas a partir de los extensómetros muestran desplazamientos máximos de 14, 22 y 24 mm para una altura del muro de 35, 70 y 105 cm respectivamente.

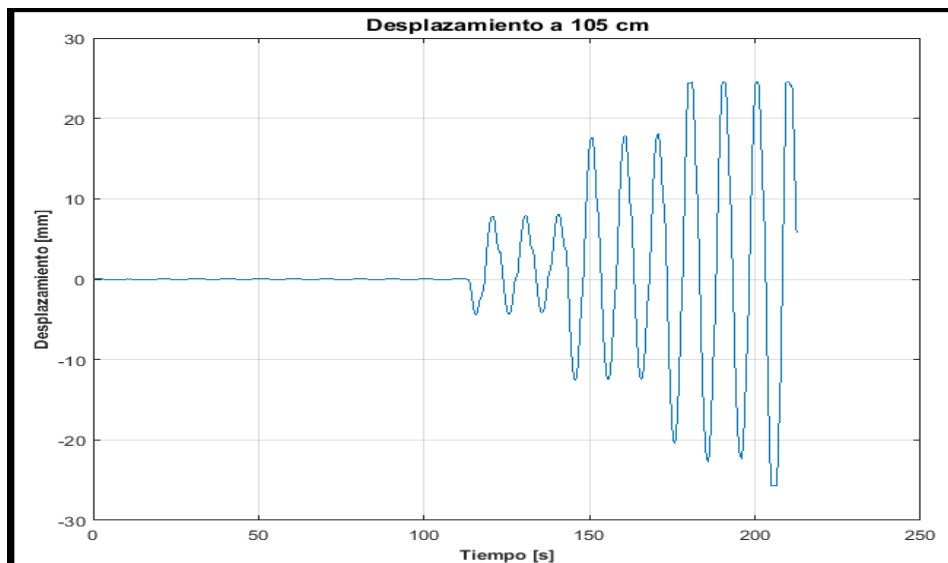
Grafica 20. Gráfico de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) a un altura 35 en el muro en tapia reforzado



Grafica 21. Gráfico de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) a un altura 70 en el muro en tapia reforzado



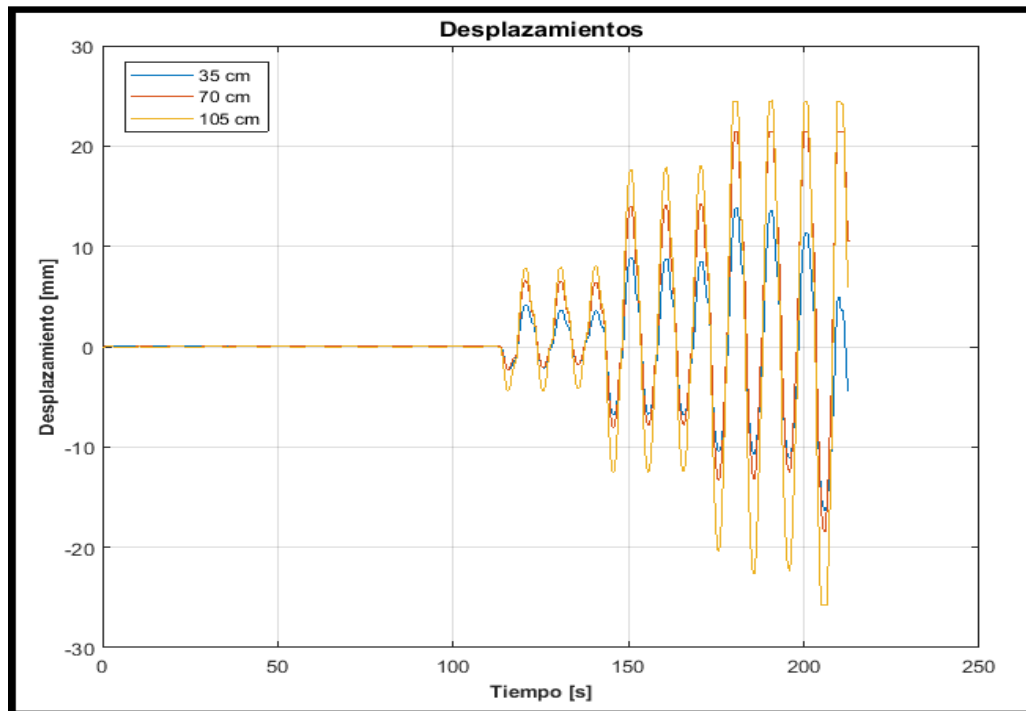
Grafica 22. Gráfico de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) a un altura 105 en el muro en tapia reforzado



La superposición de las gráficas de desplazamiento vs tiempo en las distintas alturas del muro permite observar que la diferencia de desplazamiento se hace más notoria entre las alturas de 35 y 70 cm, además, muestra mayor uniformidad en las

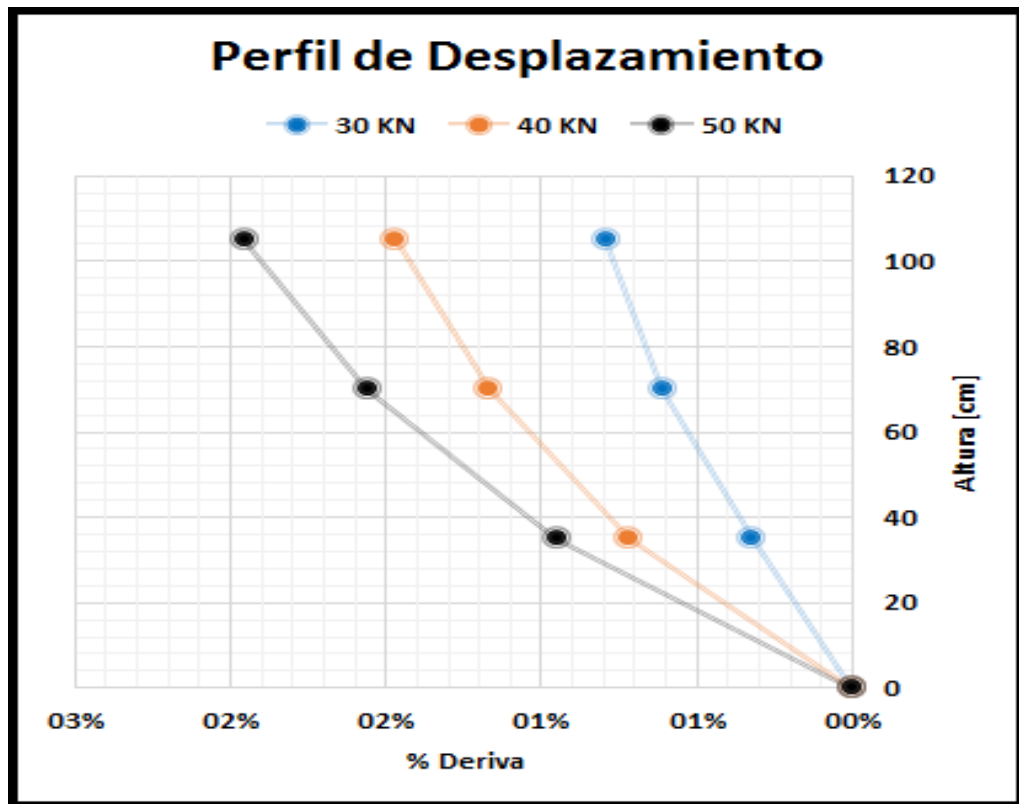
alturas de 70 y 105 cm. La diferencia máxima entre las alturas de 35 y 105 cm es de 19mm de los cuales 17 mm se presentan entre la altura de 35 y 70 cm.

Grafica 23. Gráficos superpuestas de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) para las diferentes alturas



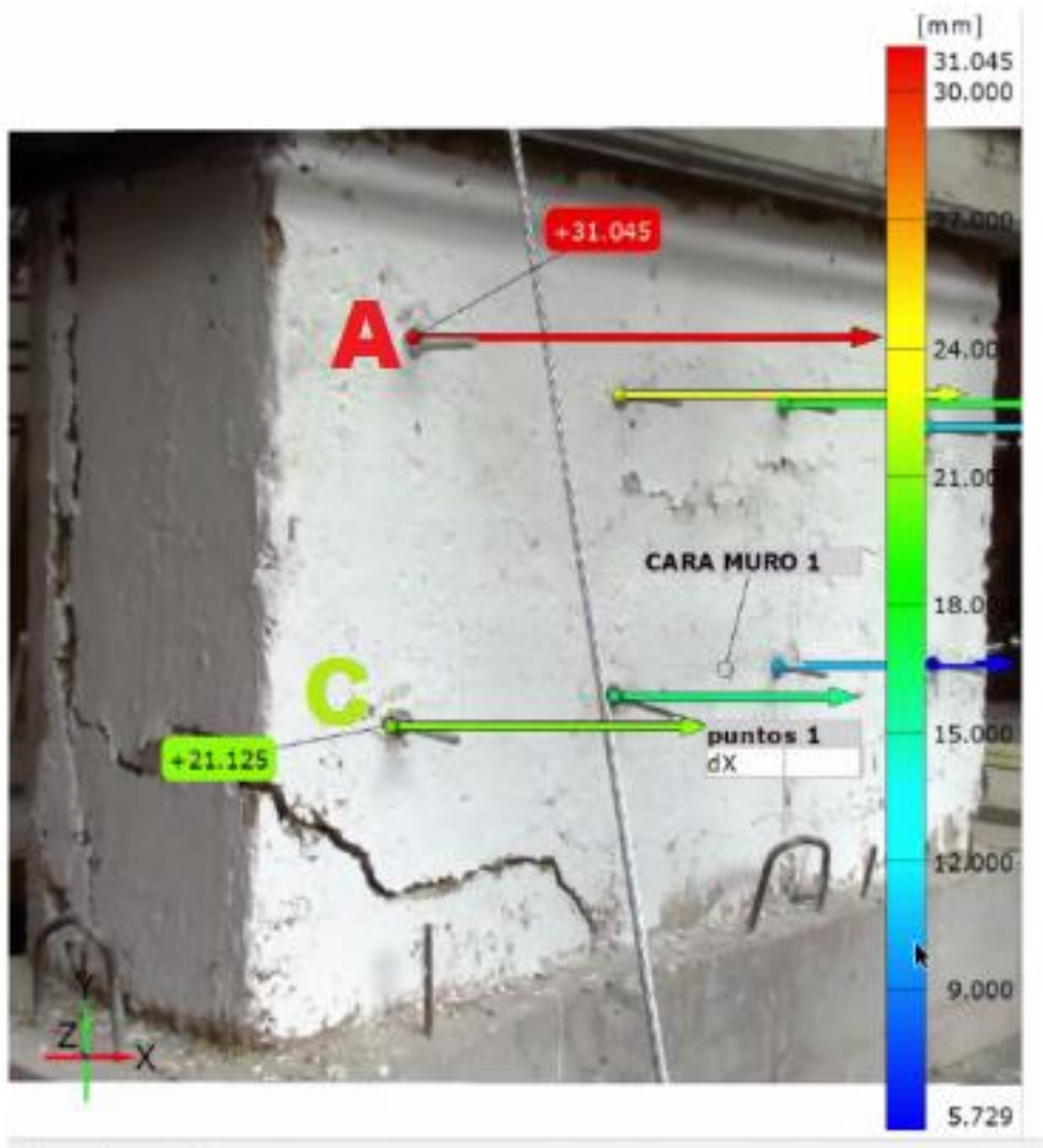
En los siguientes perfiles de desplazamiento del muro en tapia pisada reforzado, para cargas de 30, 40 y 50 KN, se observa que la pendiente de estos aumenta a mayor altura de ubicación en el muro.

Grafica 24. Perfil de desplazamiento del muro en tapia reforzado, para cargas laterales aplicadas de 30, 40 y 50 KN

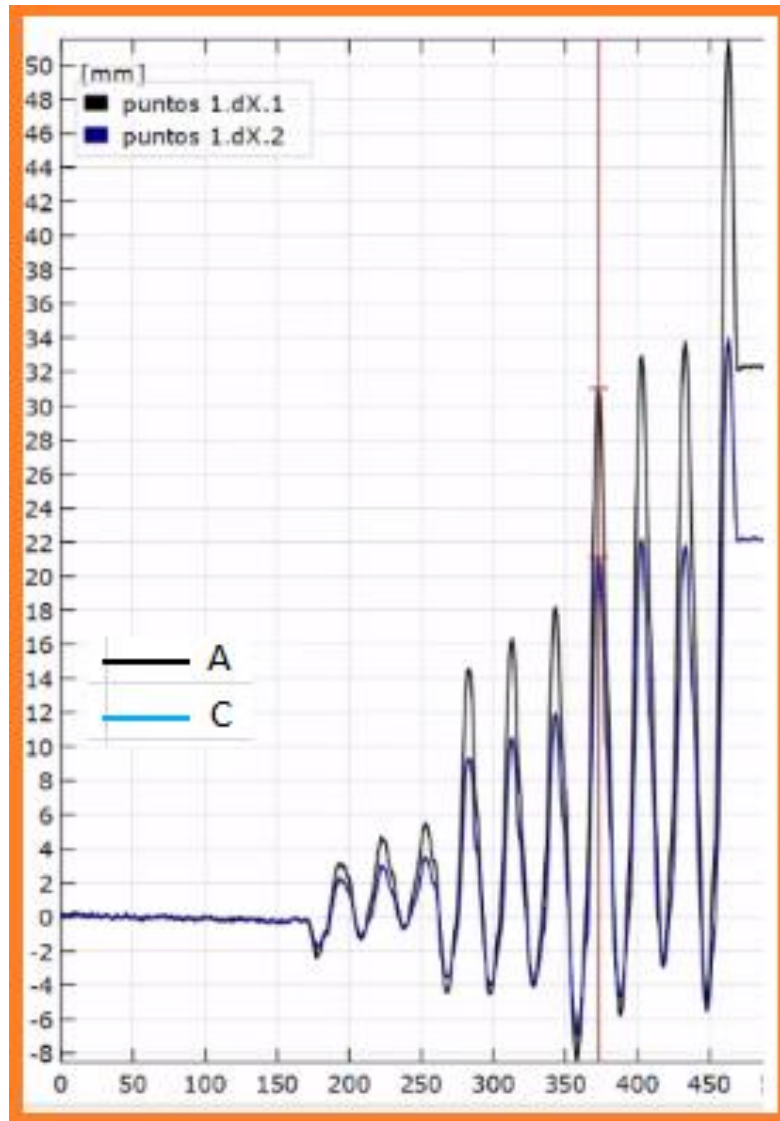


5.2.3 Análisis con GOM-Correlate (Muro reforzado). Para el muro en tapia pisada reforzado, se analizó el desplazamiento lateral de dos pernos (A y C), obteniendo graficas de desplazamiento de cada perno vs tiempo transcurrido en el ensayo.

Figura 29. Pernos A y C en el muro de tapia pisada reforzado



Grafica 25. Gráficos de desplazamiento (mm) vs tiempo (seg) para los pernos A y C



6. CONCLUSIONES

El muro en tapia pisada reforzado falló por tracción permitiendo un desplazamiento lateral máximo de 40.1 mm, que comparado con el muro típico en tapia pisada, el cual fallo por cortante y presentó un desplazamiento lateral máximo 30.1 mm, obtuvo un incremento en la resistencia del 33%.

En el ensayo del muro en tapia pisada reforzado se evidencia una diferencia significativa de daños entre los dos materiales (Tapia-Concreto), causada por el desprendimiento del muro de concreto de la base, ya que al desprenderse y estar conectado con el muro en tapia, ocasiono tracción y la posterior falla en el muro de tapia. Por otra parte fallos en el anclaje del muro de concreto llevó a desplazamientos y giros indebidos en la cimentación del muro, esto tuvo como consecuencia una falla en la interfaz de anclaje entre el muro y su cimiento, disipando energía que debió ser transmitida al elemento de prueba.

La rigidez que el muro en concreto le proporciona al muro en tapia pisada se evidencia en los perfiles de desplazamiento para el muro reforzado, los cuales presentan una mayor pendiente y uniformidad que los perfiles de desplazamiento del muro típico en tapia.

Las gráficas de desplazamiento vs tiempo obtenidas mediante GOM-Correlate 2017 y el registro del actuador hidráulico (AH) muestran desplazamientos máximos de 30 mm para el muro típico en tapia y desplazamientos máximos en el rango de 32 y 40 mm para el muro en tapia reforzado, los resultados alcanzados con los extensómetros no superan los 25 mm en ningún muro de estudio debido a que los desplazamientos máximos presentados en el ensayo superaron su capacidad de medición.

La propuesta de reforzamiento de muros en tapia pisada mostrada en esta investigación se puede utilizar para reducir la vulnerabilidad sísmica que estas estructuras poseen, pero evidentemente se abre un amplio campo de investigación del reforzamiento de estructuras de tapia con pantallas de concreto.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

AFANADOR GARCIA, Nelson. CARRASCAL DELGADO, Mayerly. BAYONA CHINCHILLA, Marvin. Experimentación, comportamiento y modelación de la tapia pisada. Vol. 22 (Dic, 2013); p 47-59.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA – AIS. FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS - FOPAE Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales (Tercera Edición-2011).

ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA – AIS. Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada (2004).

Bui, Q. B., Hans, S., Morel, J. C., & Do, A. P. (2011). First exploratory study on dynamic characteristics of rammed earth buildings. *Engineering Structures*, 33(12), 3690-3695.

Gómez, D., Helena, L., González, A., Yepes, C., Ancizar, F., García, H., & Amparo, G. (2014). Construcción de muros en tapia y bahareque.

Gómez, V., López, C., & Ruiz, D. (2016). Rehabilitación sísmica de edificaciones históricas en tapia pisada: estudio de caso de capillas doctrineras reforzadas con malla de acero y madera de confinamiento. *Informes de la Construcción*, 68(541), 140.

LOPEZ PEREZ, Cecilia (2010). Rastros y rostros de las construcciones en tierra cruda. 9p. Universidad del Oriente. Facultad de construcciones.

NAVARRO GARCIA, Oscar. QUIROZ RAMIREZ, Erison. Reparación y reforzamiento de construcciones informales. Bucaramanga, 2012, 128p. Trabajo de

investigación. Universidad industrial de Santander. Facultad físico mecánica.
Ingeniería civil.

ANEXOS

ANEXO A. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA



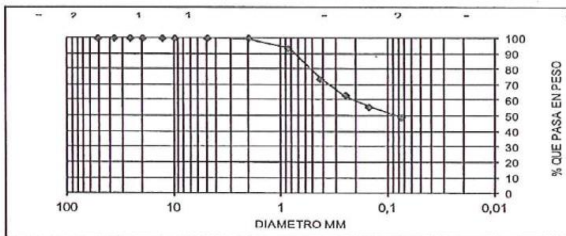
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123**

FECHA: Enero 16 de 2017 SONDEO: _____
 PROYECTO: Construcción de Muros en Tapla Pisada MUESTRA: _____
 LOCALIZACION: Piedecuesta PROFUNDIDAD: 2,5 m

PESO TARA (Kg)	305,1
TARA+MUESTRA HUMEDA (Kg)	1305,1
TARA+MUESTRA SECA (Kg)	1164,7
PESO AGUA (Kg)	140,4
PESO MUEST. SECA (Kg)	859,6
HUMEDAD (%)	16,33%

PESO INICIAL DE LA MUESTRA g: 800,00
 PESO DESPUES DE LAVADO g: 412,50
 PORCENTAJE DE ERROR %: 0,20

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	g	%	%	****	mm	g	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	2	5,10	0,64	99,36
1 1/2"	36,1	0,00	0,00	100,00	20	0,84	49,20	6,15	93,21
1"	25,4	0,00	0,00	100,00	40	0,42	158,00	19,75	73,46
3/4"	19,05	0,00	0,00	100,00	60	0,25	85,90	10,74	62,73
1/2"	12,7	0,00	0,00	100,00	100	0,149	58,80	7,35	55,38
3/8"	9,52	0,00	0,00	100,00	200	0,074	52,80	6,60	48,78
No 4	4,75	0,00	0,00	100,00	PASA 200	*****	388,60		
SUMA	*****	0,00	0,00		SUMA	*****	798,40	51,23	
					TOTAL		798,40		



GRAVAS= 0,00 %
 ARENAS= 51,23 %
 FINOS= 48,78 %

CLASIFICACION SUCS: SM Arena Limosa

VoBo:
 Ing. Wilfredo De Toro R.
 Director Escuela de Ingeniería Civil

REVISO:
 Ing. Eduardo A. Castañeda P.
 Jefe Laboratorio Suelos y Pavimentos

ANEXO B. ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

FECHA Abril 20 de 2017
 PROYECTO Construcción de muro en Tapia Pisada MUESTRA 8 a 15 de febrero
 LOCALIZACION _____ PROFUNDIDAD _____

MUESTRA	CAPSULA	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
	No.	g	g	g	g	g	%
	11	12,6	576,8	562,8	14	550,2	2,54%
	15	9,8	1137,2	1091,5	45,7	1081,7	4,22%
	8	10,1	602,5	588,1	14,4	578	2,49%

VoBo:

Ing. Wilfredo Del Toro
 Director Escuela de Ingeniería Civil

REVISO:

Ing. Eduardo A. Castañeda P.
 Director Laboratorio de Caracterización de Materiales



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

FECHA
PROYECTO
LOCALIZACION

Mayo 5 de 2017
Construcción de muro en Tapia Pisada

MUESTRA
PROFUNDIDAD

MUESTRA	CAPSULA	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
	No.	g	g	g	g	g	%
8 DE FEBRERO	1	9,7	720,2	704,4	15,8	694,7	2,27%
8 DE FEBRERO	2	10,1	1251,1	1235,8	15,3	1225,7	1,25%
15 DE FEBRERO	3	9,6	1266,8	1238,0	28,8	1228,4	2,34%

VoBo:

Ing. Wilfredo Del Toro
Director Escuela de Ingenieria Civil

REVISO:

Ing. Eduardo A. Castañeda P.
Director Laboratorio de Caracterización de Materiales



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

FECHA Mayo 10 de 2017
PROYECTO Construcción de muro en Tapia Pisada MUESTRA 8 a 15 de febrero
LOCALIZACION _____ PROFUNDIDAD _____

MUESTRA	CAPSULA	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
	No.	g	g	g	g	g	%
8 de febrero	4	9,9	788,5	755,2	33,3	745,3	4,47%
15 de febrero	5	10,0	805,1	764,0	41,1	754	5,45%

VoBo:

Ing. Wilfredo Del Toro
Director Escuela de Ingenieria Civil

REVISO:

Ing. Eduardo A. Castañeda P.
Director Laboratorio de Caracterización de Materiales

ANEXO C. LÍMITES DE ATTERBERG



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126

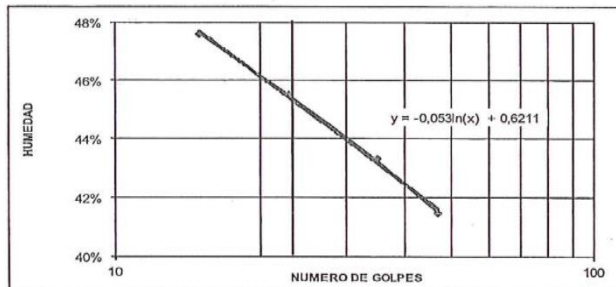
FECHA	<u>Enero 16 de 2017</u>	SONDEO	
PROYECTO	<u>Construcción muros en Tapla Pisada</u>	MUESTRA	
LOCALIZACION	<u>Pieduesta (Santander)</u>	PROFUNDIDAD	<u>2,5 m</u>

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		g	g	g	g	g	%
13	47	7,20	47,10	35,40	11,70	28,20	41%
22	35	6,80	47,50	35,20	12,30	28,40	43%
23	23	7,10	47,70	35,00	12,70	27,90	46%
28	15	7,30	47,30	34,40	12,90	27,10	48%

LIMITE PLASTICO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
14		7,20	21,90	18,80	3,10	11,60	27%
30		7,40	21,30	18,50	2,80	11,10	25%



LIMITE LIQUIDO :	45%
LIM. PLASTICO :	26%
IND. DE PLASTI. :	19%
CLASIFICACION SUCS. :	SM

VoBo :

Ing. Wilfredo Del Toro R.
 Director Escuela de Ingeniería Civil

REVISO:

Ing. Eduardo A. Castañeda P.
 Jefe Laboratorio Suelos y Pavimentos

ANEXO D. ENSAYOS DE COMPRESIÓN PARA MATERIAL DE TIERRA EMPLEADO



LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

INFORME R 091

INFORME DE RESULTADOS ENSAYO A COMPRESIÓN

FECHA DE ENSAYO : MAYO 9 DE 2017
CLIENTE : RAFAEL CRISTOBAL ARIZMENDI
MATERIAL : CUBOS MURO DE TAPIA

CONDICIONES DE ENSAYO

EQUIPO : UNIVERSAL DE ENSAYOS MTS **PUNTO DE CARGA:** CENTRICA AXIAL
TEMPERATURA : 23°C **HUMEDAD** : 70%
VELOCIDAD ENSAYO : 0.10 mm/s

RESULTADOS

Id muestra	Id laboratorio	Carga máxima Kgf	DIMENSIONES			Área Cm ²	Esfuerzo Kgf/Cm ²
			Largo Cm	Alto Cm	Ancho Cm		
8-4	V 138	80.7	15	15	15	225	0.35
15-4	V 139	256.1	15	15	15	225	1.13
R-10	V 140	1232.1	15	10	15	225	5.47
O-1	V 141	947.5	16	16	16	256	3.70
R-9	V 142	2254.2	15	7	15	225	10.0

Observaciones:

1 DECLARAMOS QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REPORTADOS EN ESTE INFORME ESTAN RELACIONADOS CON LOS ESPECIMEN QUE SE HAN IDENTIFICADO Y ENSAYADO, LAS CUALES FUERON ENTREGADAS EN EL LABORATORIO DIRECTAMENTE POR EL CLIENTE.
 2 ESTE INFORME NO DEBE REPRODUCIRSE PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACION DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
 3 LA APLICACION Y EMPLEO DE LOS DATOS Y RESULTADOS REPORTADOS EN ESTE INFORME NO SON RESPONSABILIDAD DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
 4 LA INFORMACION DECLARADA EN ESTE INFORME ESTA BASADA EN LOS DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE, NO ES COMPETENCIA DEL LABORATORIO LA VERACIDAD DE ESTA INFORMACION.

Ensayo
Jaime Ascadena
 Lab. Resistencia de Materiales

Revisó
Eduardo Castañeda
 Director de Laboratorio

VoBo
Wilfredo del Toro
 Director Escuela. Ing. Civil

LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES
 Ciudad Universitaria, Carrera 27 – Calle 9, Edificio Álvaro Beltrán Pinzón
 PBX: (+57 7) 634 4000 Ext. 2487-2937 – FAX: (+57 7) 632 0744, Bucaramanga, Colombia
 E-mail labcivil@uis.edu.co



