

**EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA
UTILIZADA EN BUCARAMANGA MEDIANTE ENSAYOS DE MURETES.**

**BRAYAM DONEY OSMA VARGAS
GUSTAVO ADOLFO HERNÁNDEZ CORTES**

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

2014

**EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA
UTILIZADA EN BUCARAMANGA MEDIANTE ENSAYOS DE MURETES.**

**BRAYAM DONEY OSMA VARGAS
GUSTAVO ADOLFO HERNÁNDEZ CORTES**

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

**Director
GUSTAVO CHIO CHO
Ingeniero Civil, M.Sc., PhD.**

**Codirector
Elkin Mauricio López Morantes
Ingeniero Civil, M.Sc. (c)**

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

2014

Dedico esta tesis a todos aquellos que creyeron en mí, a aquellos que esperaban mi éxito en cada paso que daba hacia la culminación de mis estudios, a aquellos que esperaban que lograra terminar la carrera, a todos aquellos que apostaban a que no me rendiría a medio camino, a todos los que creyeron que lo lograría, a todo ellos con todo mi cariño y amor y en especial y a mi madre Edilce Osma por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado.

Brayam

Le doy gracias a Dios por permitirme lograr este Nuevo triunfo en mi vida y dar un motivo más de alegría para toda mi familia, que con su apoyo incondicional me han permitido salir adelante en este proceso de aprendizaje. Todos los sacrificios que hicieron por mí los convertiré en triunfos y éxitos, sus preocupaciones y tristezas en inmensas alegrías, seré su apoyo por siempre en las buenas y malas; de la mano de Dios caminaremos siempre juntos como familia y saldremos adelante a conquistar el mundo. Agradezco a mi papa José Arturo Hernández Herrera a mi mama Luz Danery Cortés Amaya y a mis hermanos Wilmer, Gerardo y Mónica Hernández Cortés, y a todas las personas con los cuales viví este proceso de aprendizaje: Daniel, Jorge, Víctor, Brayam, Jaiber, Sandra y Stephany. Con el profundo amor que les tengo e inmenso respeto y aprecio dedico este nuevo triunfo a todos ustedes.

Gustavo

Agradecimientos

Los autores agradecen a sus familias por su comprensión durante la ejecución de este proyecto. A la universidad industrial de Santander, al Ingeniero Civil y director de proyecto Gustavo Chio Cho, al Ingeniero Civil Elkin Mauricio López codirector del proyecto por la asesoría y disponibilidad ante el desarrollo de las actividades. Y al personal del Laboratorio especialmente a los laboratoristas por su dedicación y entrega para poder ejecutar esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	22
1. OBJETIVOS	24
1.1. OBJETIVO GENERAL	24
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
2. GENERALIDADES DE LA MAMPOSTERÍA.....	25
2.1. RESEÑA HISTÓRICA.....	25
2.2. CLASIFICACIÓN DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL SEGÚN EL REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR-10) TÍTULO D.	26
2.2.1. Mampostería de cavidad reforzada	26
2.2.2. Mampostería reforzada.	26
2.2.3. Mampostería parcialmente reforzada	27

2.2.4.	Mampostería no reforzada	27
2.2.5.	Mampostería de muros confinados	27
2.2.6.	Mampostería de muros diafragma.....	27
2.2.7.	Mampostería reforzada externamente.....	28
3.	BÚSQUEDA Y TRANSPORTE DE MATERIALES.....	29
4.	INSPECCIÓN DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA Y ELABORACIÓN DE LOS MURETES.....	30
4.1.	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN PARA MAMPOSTERÍA.....	30
4.2.1.	Tipos de Unidades de Mampostería.....	31
4.2.1.	Dimensiones de las Unidades	32
4.2.1.	Estado de las Unidades Previo a su Colocación	32
4.2.1.	Mortero de Pega.	33
4.2.	ELABORACIÓN DE LOS ESPECÍMENES	34
4.2.1.	Construcción de Pilas.....	35

5.	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL ..	42
5.1.	MAQUINAS DE PRUEBA	42
5.2.	PROCESO EXPERIMENTAL	44
5.2.1.	Absorción de Agua.	44
5.2.2.	Resistencia a compresión de las unidades de mampostería.	45
5.2.3.	Resistencia a Compresión de los Cubos de Mortero.	46
5.2.5.	Ensayo de Compresión Diagonal.	50
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	54
6.1.	ABSORCIÓN DE AGUA	54
6.2.	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE	55
6.3.	RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTEROS.....	56
6.4.	RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL.	60
6.5.	RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAGONAL	69
7.	CONCLUSIONES	76

CITAS BIBLIOGRAFICAS79

BIBLIOGRAFÍA.....81

ANEXOS83

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. <i>Ladrillos (H10, H15 y tolete)</i>	29
Figura 2. <i>Platina para adaptación a la maquina universal (MTS 810)</i>	29
Figura 3 <i>Unidades de perforación horizontal (H-10, H-15), y maciza (tolete)</i>	31
Figura 4 <i>Unidades con imperfecciones</i>	33
Figura 5 <i>Las unidades saturadas en agua</i>	33
Figura 6 <i>Mortero de pega</i>	34
Figura 7. <i>Altura, largo y ancho de pilas</i>	37
Figura 8. <i>Muros de mampostería</i>	38
Figura 9. <i>Frisado de muros</i>	40
Figura 10. <i>Sellado en bolsas impermeables durante 28 días</i>	40
Figura 11. <i>Refrentado de los muretes con lija</i>	41
Figura 12. (a) <i>Prensa hidráulica</i> (b) <i>Maquina universal (MTS)</i>	43
Figura 13. <i>Platinas ubicadas en la parte superior e inferior de la MTS</i>	43
Figura 14. <i>Se sumergen los especímenes secos y fríos</i>	45
Figura 15. <i>Ensayo de resistencia a la compresión de unidades de mampostería</i>	46

Figura 16. <i>Muestras de mortero</i>	47
Figura 17. <i>Ensayo de compresión axial</i>	48
Figura 18. <i>Pila encima del plato de carga inferior y alineada los ejes centroidales del espécimen con el centro de la máquina de ensayo</i>	49
Figura 19. <i>Pila acabada de fallar</i>	50
Figura 20. <i>Monta carga para transporte y montaje de los especímenes</i>	51
Figura 21. <i>Muro acabado de fallar</i>	52
Figura 22. <i>Carga [KN] vs Desplazamiento [mm]</i>	53
Figura 23. <i>Resistencia a compresión del mortero</i>	59
Figura 24. <i>Carga [KN] Vs Deformación acumulada [mm]</i>	60
Figura 25. <i>Calculo del módulo de elasticidad (pendiente)</i>	63
Figura 26. <i>Curva de comportamiento esfuerzo deformación pilas H-10</i>	65
Figura 27. <i>Curva de comportamiento esfuerzo deformación pilas H-15</i>	66
Figura 28. <i>Curva de comportamiento esfuerzo deformación pilas Tolete</i>	66
Figura 29. <i>Resistencia promedio de pilas de mampostería</i>	67
Figura 30. <i>Módulo de elasticidad promedio de las pilas de mampostería [Mpa]</i> ...67	
Figura 31. <i>Principales tipos de falladle compresión diagonal</i>	71
Figura 32. <i>Curvas de esfuerzo de corte vs deformación por corte</i>	72

LISTA DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1. <i>Dimensiones de las unidades propuestas para los ensayos</i>	32
Tabla 2. <i>Factor de corrección por esbeltez para $f'm$</i>	35
Tabla 3. <i>Dimensiones promedio de las pilas para los ensayos</i>	37
Tabla 4. <i>Dimensiones promedio de muretes;</i>	39
Tabla 5. <i>% absorción promedio de cada tipo de unidad</i>	55
Tabla 6. <i>Resistencia promedio a compresión simple de los ensayos de lab</i>	56
Tabla 7. <i>Clasificación de los tipos de mortero de acuerdo a su resistencia</i>	57
Tabla 8. <i>Resistencia a la Compresión de Mortero</i>	59
Tabla 9. <i>Resistencia especificada $f'm$ según NSR10</i>	62
Tabla 10. <i>Esfuerzo y módulo de elasticidad de pilas de mampostería H-10</i>	63
Tabla 11. <i>Esfuerzo y módulo de elasticidad de pilas de mampostería H-15</i>	64
Tabla 12. <i>Esfuerzo y módulo de elasticidad de pilas de mampostería tolete</i>	64
Tabla 13. <i>Esfuerzo y módulo de elasticidad promedio de pilas</i>	68
Tabla 14. <i>Confrontación datos $f'm$ experimentales vs datos $f'm$ teóricos</i>	68
Tabla 15. <i>Confrontación de datos E_m experimentales vs datos E_m teóricos</i>	69

Tabla 16. <i>Esfuerzo y módulo de corte de muretes de mampostería H-10.....</i>	73
Tabla 17. <i>Esfuerzo y módulo de corte de muretes de mampostería H-15.....</i>	74
Tabla 18. <i>Esfuerzo y módulo de corte de muretes de mampostería Tolete</i>	74
Tabla 19. <i>Esfuerzo y módulo de corte promedio de muros de mampostería.....</i>	75

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Dimensiones pilas	83
ANEXO 2 Dimensiones muros	84
ANEXO 3 Tablas de esfuerzo y módulo de elasticidad de las pilas.....	85
ANEXO 4 Grafica de resistencia a la compresión f'_{cp} [Mpa] de pilas H-10	86
ANEXO 5 Grafica de resistencia a la compresión f'_{cp} [Mpa] de pilas H-15	86
ANEXO 6 Grafica de resistencia a la compresión f'_{cp} [Mpa] de pilas tolete	87
ANEXO 7 Grafica de Módulo de elasticidad [Mpa] de pilas H-10	87
ANEXO 8 Grafica de Módulo de elasticidad [Mpa] de pilas H-15	88
ANEXO 9 Grafica de Módulo de elasticidad [Mpa] de pilas tolete	88
ANEXO 10 Tablas de esfuerzo y módulo de corte de los muretes	89
ANEXO 11 Grafica de resistencia a la compresión [Mpa] de muretes H-10	90
ANEXO 12 Grafica de resistencia a la compresión $V'm$ de muretes H-15	91

ANEXO 13 Grafica de resistencia a la compresión $V'm$ de muretes tolete	91
ANEXO 14 Grafica de módulo de corte G_m [Mpa] de muretes H-10.....	92
ANEXO 15 Grafica de módulo de corte G_m [Mpa] de muretes H-15.....	92
ANEXO 16 Grafica de módulo de corte G_m [Mpa] de muretes tolete	93

GLOSARIO

CURVAS DE FRAGILIDA: Representan la probabilidad de que la respuesta de una estructura exceda un determinado estado limite, en función de un parámetro que define la intensidad del movimiento del suelo. En otras palabras, puede decirse que son una medida de la vulnerabilidad sísmica de una estructura en términos probabilísticos.

MAMPOSTERIA: La mampostería es la unión de bloques o ladrillos de arcilla o de concreto con un mortero para conformar sistemas monolíticos tipo muro, que pueden resistir acciones producidas por las cargas de gravedad o las acciones de sismo o viento.

MODULO DE ELASTICIDAD: Representa el grado de rigidez de un material y es el resultado de dividir su esfuerzo unitario entre su deformación unitaria correspondiente.

MORTERO DE PEGA: El mortero es una mezcla homogénea de un material cementante (cemento), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y en algunas ocasiones aditivos, prácticamente es hormigón sin el agregado grueso.

RESISTENCIA A LA COMPRESION: Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento sin romperse.

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA
MAMPOSTERÍA UTILIZADA EN BUCARAMANGA MEDIANTE
ENSAYOS DE MURETES.*

AUTORES: BRAYAM DONEY OSMA VARGAS
GUSTAVO ADOLFO HERNÁNDEZ CORTES**

PALABRAS CLAVE: Murete, Mortero de pega, Modulo de elasticidad, Resistencia a la compresión, unidades de mampostería, compresión diagonal, y esfuerzo.

DESCRIPCION

En este proyecto de investigación, se propuso determinar las curvas de comportamiento esfuerzo deformación y evaluar el módulo de elasticidad de muretes construidos con unidades de mampostería representativas de la ciudad de Bucaramanga mediante ensayos de laboratorio; Se analizó y comparo el comportamiento de tres tipos de ladrillo de perforación horizontal y macizos en arcilla como el H10, H15 y Tolete, mediante ensayos de laboratorio que permitieron conocer las características y propiedades de los materiales que integran los elementos estructurales, analizando principalmente el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión, como parámetros que influyen en forma directa en la rigidez de la edificación y que concuerdan con las investigaciones de Hemant B. et al [1] y Takeuchi C. [2], bajo el Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010 (NSR-10), cuyos resultados servirán de aporte en el ámbito investigativo debido a que en la práctica profesional existe una gran discrepancia en los modelos para el análisis de estructuras de mampostería y dichos modelos conducen a fuerzas de diseño imprecisas.

Los resultados obtenidos serán utilizados para evaluar las curvas de comportamiento de una vivienda de mampostería típica de la región y estos son la base para las curvas de fragilidad utilizadas en los estudios de vulnerabilidad y riesgo.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: GUSTAVO CHIO CHO. Codirector: ELKIN MAURICIO LOPEZ

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION MODULE FOR ELASTICITY OF MASONRY USED IN BUCARAMANGA TESTING BY LOW WALLS*

AUTHOR: BRAYAM DONEY OSMA VARGAS
GUSTAVO ADOLFO HERNÁNDEZ CORTES**

KEYWORDS: low walls mortar paste, Modulus of elasticity, compressive strength, masonry units, diagonal compression, and stress.

DESCRIPTION

This research Project, was proposed to determine the performance curves stress [MPa] vs. unit strain [mm / mm] This has evaluated the modulus of elasticity of low walls built with masonry units that are representative of the city of Bucaramanga by means of laboratory tests, it Was analyzed and compared the behavior of three types of brick of horizontal drilling and solid of clay such as the H10, H15 and Tolete, through laboratory testing. That allowed to determine the characteristics and properties of materials making up the structural elements in laboratory tests, analyzing principally the modulus of elasticity and compressive strength, as parameters that influence directly in the stiffness of the building and consistent with research of Hemant B. et al [1] and C. Takeuchi [2], controlled by the Colombian Seismic Resistant Building Code 2010 (NSR-10) [3], whose results will be additive in the research field because in professional practice there is a wide discrepancy in the models for the analysis of masonry structures and these models lead to imprecise design forces.

The results obtained will be used to evaluate the performance curves of typical masonry housing of the region and these are the foundation for the fragility curves used in studies of vulnerability and risk

* Degree work

** Physical-Mechanical Faculty. Faculty, School of Civil Engineering. Director: GUSTAVO CHIO CHO. Codirector: ELKIN MAURICIO LOPEZ

INTRODUCCIÓN.

Los muros son elementos cuya función es dividir espacios en una construcción, están compuestos por las unidades de mampostería (ladrillos y/o bloques) que pueden ser de arcilla, material sílico calcáreo o de concreto, las cuales son colocadas y pegadas con mortero de pega para conformar el muro, la mampostería es un material compuesto que trabaja principalmente a compresión. Existen ladrillos con perforación vertical, horizontal y macizos.

El sistema constructivo de edificaciones con mampostería son las construcciones que más predominan en Colombia. En Bucaramanga la unidad de mampostería más solicitada en los procesos constructivos son los ladrillos en arcilla.

El objetivo principal de este trabajo fue definir las curvas esfuerzo deformación para determinar el módulo de elasticidad y la resistencia de muretes, construidos con algunas unidades de mampostería representativa de la ciudad de Bucaramanga.

Para el cumplimiento de este objetivo fue necesario evaluar el comportamiento a nivel individual y en conjunto de los 3 tipos de ladrillos (H-10; H-15; Tolete) mediante ensayos de laboratorio que permitieron conocer algunas características y propiedades de estos materiales, analizando principalmente el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión, como parámetros que influyen en forma directa en la rigidez de la edificación y que concuerdan con las investigaciones de Hemant B. et al [1] y Takeuchi C [2], bajo el Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010 (NSR-10), cuyos

resultados servirán de aporte en el ámbito investigativo debido a que en la práctica profesional existe una gran discrepancia en los modelos para el análisis de estructuras de mampostería y dichos modelos conducen a fuerzas de diseño imprecisas.

Los resultados obtenidos serán utilizados para evaluar las curvas de comportamiento de una vivienda de mampostería típica de nuestra región y estos son la base para las curvas de fragilidad utilizadas en los estudios de vulnerabilidad y riesgo.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las curvas de comportamiento esfuerzo deformación de muretes construidos con unidades de mampostería representativas de la ciudad de Bucaramanga.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el comportamiento resistente a nivel individual y en conjunto de los 3 tipos de ladrillos (H10; H15; tolete) fabricados en arcilla, según los lineamientos de las normas Técnicas Colombianas vigentes NTC y NSR 10.
- Establecer las curvas esfuerzo deformación para determinar el módulo de elasticidad y la resistencia al corte de muretes, según la norma NTC 3495, NTC 4205, NTC 3546 y NTC 4017.
- Verificar los valores de resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad y resistencia al corte, de las pruebas de laboratorio con los valores propuestos por las normas Técnicas Colombianas vigentes NTC y NSR 10.

2. GENERALIDADES DE LA MAMPOSTERÍA

Los muros son elementos cuya función es dividir espacios en una construcción, están compuestos por las unidades de mampostería, este sistema constructivo es tradicional en todas las culturas que consiste en levantar muros a base de bloques que pueden ser de arcilla cocinada, piedra o concreto entre otros. Actualmente se unen utilizando un mortero de cemento y arena con un poco de agua, en las proporciones adecuadas.

2.1. RESEÑA HISTÓRICA

La mampostería tiene una historia que data desde hace miles de años, posiblemente es el primer sistema con fines estructurales que utilizaron nuestros antepasados. Mampuesto significa colocado o puesto con las manos, es así que hablar de este sistema es hablar de la historia misma del hombre.

Primitivamente se apilaban piedras con algún propósito como la construcción de un refugio, y con el tiempo se fueron empleando morteros de pega, inicialmente puramente barro, que permitieron tener más facilidad para acomodar las piedras naturales y conseguir mayores alturas.

En las ciudades colombianas se vio mucho las edificaciones construidas con técnicas heredadas de los conquistadores españoles (tapia y adobe). Hoy en día de las grandes casonas con patios centrales ha pasado a espacios más pequeños donde otros materiales como la mampostería y el concreto han sido utilizados para su transformación [4].

2.2. CLASIFICACIÓN DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL SEGÚN EL REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR-10) TÍTULO D.

Hoy en día en este sistema se utilizan ladrillos de barro cocido o bloques de concreto, ya que tienen una gran capacidad de soporte. Estos se utilizan como simple relleno en caso de marcos estructurales (mampostería confinada), o como parte de la estructura en el cual se coloca refuerzo interior en el muro, y le llamamos mampostería reforzada. Esta norma reconoce los siguientes tipos de mampostería

2.2.1. Mampostería de cavidad reforzada Es la construcción realizada con dos paredes de piezas de mampostería de caras paralelas reforzadas o no, separadas por un espacio continuo de concreto reforzado, con funcionamiento compuesto y que cumple los requisitos del capítulo D.6. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad especial de disipación de energía en el rango inelástico (DES).

2.2.2. Mampostería reforzada. Es la construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero y que cumple los requisitos del capítulo D.7. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad especial de disipación de energía en el rango inelástico (DES) cuando todas sus celdas se inyectan con mortero de relleno o cuando se cumpla con los requisitos adicionales de refuerzos mínimos descritos en D.7.2.1.1, y como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (DMO) cuando sólo se inyectan con mortero de relleno las celdas verticales que llevan refuerzo.

2.2.3. Mampostería parcialmente reforzada. Es la construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero y que cumple los requisitos del capítulo D.8. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (DMO).

2.2.4. Mampostería no reforzada. Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero que no cumple las cuantías mínimas de refuerzo establecidas para la mampostería parcialmente reforzada. Debe cumplir los requisitos del capítulo D.9. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (DMI).

2.2.5. Mampostería de muros confinados. Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero, reforzada de manera principal con elementos de concreto reforzado construidos alrededor del muro, confinándolo y que cumple los requisitos del capítulo D.10. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (DMO).

2.2.6. Mampostería de muros diafragma. Se llaman muros diafragma de mampostería a aquellos muros colocados dentro de una estructura de pórticos, los cuales restringen su desplazamiento libre bajo cargas laterales. Los muros

diafragma deben cumplir los requisitos del capítulo D.11. Este tipo de construcción no se permite para edificaciones nuevas, y su empleo sólo se permite dentro del alcance del Capítulo A.10, aplicable a la adición, modificación o remodelación del sistema estructural de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del Reglamento, o de la evaluación de su vulnerabilidad sísmica.

2.2.7. Mampostería reforzada externamente. Es la construcción de mampostería en donde el refuerzo se coloca dentro de una capa de revoque (pañete) fijándolo al muro de mampostería mediante conectores y/o clavos y cumple con los requisitos descritos en D.12. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (DMI).

3. BÚSQUEDA Y TRANSPORTE DE MATERIALES

Los materiales a utilizar en la construcción y ensayos de los muretes son los siguientes: Arena, cemento, ladrillos (H10, H15 y tolete) (Figura 1), los ladrillos H-10 y H-15 se adquirieron de un depósito de materiales y el tolete se adquirió de un chircal, se transportarán al laboratorio de la universidad industrial de Santander para realizar los respectivos ensayos. Adicionalmente se necesitó una adaptación, (platina con espesor de $\frac{1}{2}$ ") (Figura 2), para la maquina universal (MTS 810) la cual se adquirió de un taller de ornamentación y se transportó hasta el laboratorio Álvaro Beltrán Pinzón.

Figura 1. Ladrillos (H10, H15 y tolete).



Figura 2. Platina para adaptación a la maquina universal (MTS 810)



4. INSPECCIÓN DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA Y ELABORACIÓN DE LOS MURETES

La caracterización de los ladrillos se realizó según las recomendaciones de las Normas colombianas de diseño y construcción sísmo resistente, títulos D y E (NSR10) y las normas técnicas colombianas NTC correspondientes para cada tipo de ensayo.

4.1. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN PARA MAMPOSTERÍA

Todo sistema constructivo está respaldado por las características de los materiales que lo constituyen, y la mampostería no se escapa de esta condición. La mampostería es de las que más depende de las propiedades de sus componentes. Por esta razón, para hablar del comportamiento de la mampostería, primero debe conocerse las propiedades de sus componentes, para luego identificar porque ésta puede llegar a comportarse de cierta forma.

Los materiales esenciales que se utilizan en la construcción de muros de mampostería son:

- Las unidades de mampostería
- Mortero de pega.

4.2.1. Tipos de Unidades de Mampostería. Las unidades de mampostería que se utilicen en las construcciones de mampostería estructural pueden ser de concreto, cerámica (arcilla cocida), sílico calcáreas o de piedra. Según el tipo de mampostería estructural y según el tipo de refuerzo, las unidades pueden ser de perforación vertical, de perforación horizontal o sólida, de acuerdo con la posición normal de la pieza en el muro. Las unidades sólidas son aquellas cuyas cavidades ocupan menos de un 25% del volumen de la pieza [3].

Figuran 3 *Unidades de perforación horizontal (H-10, H-15), y maciza (tolete)*



Las unidades de perforación horizontal, utilizadas para este proyecto se adquirieron de un depósito, en la ciudad de Bucaramanga. Y las unidades macizas, se adquirieron de un chircal, en el municipio de Girón; (Figura 3), a fin

de estudiar las propiedades más importantes y, en particular, la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad.

4.2.1. Dimensiones de las Unidades. A continuación se muestran las dimensiones generales de las unidades utilizadas en la realización del proyecto.

Tabla 1. Dimensiones de las unidades propuestas para los ensayos

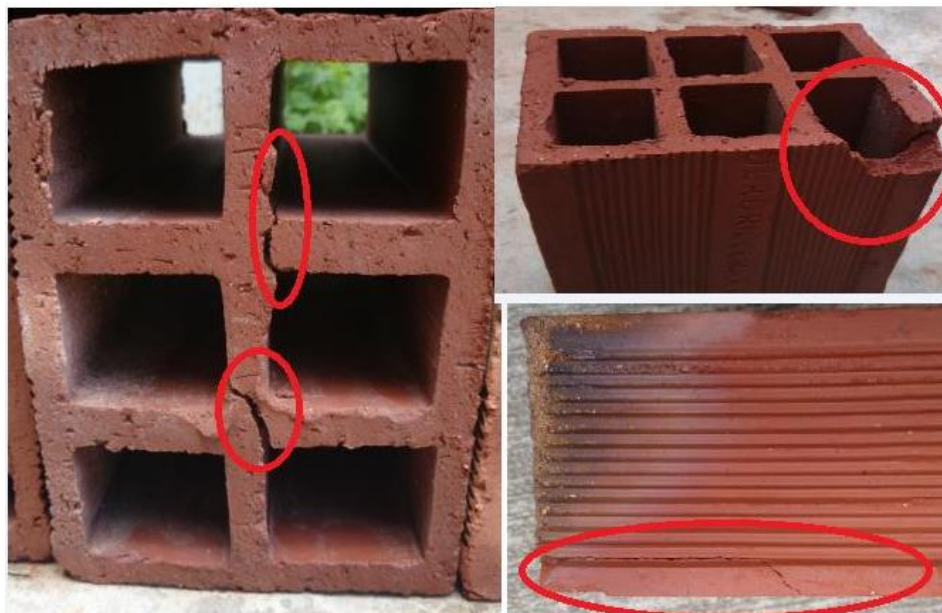
DIMENSIONES			
	H-10	H-15	Tolete
Numero de huecos	6	6	Macizo
Dimensiones	30 x 20 x 10 cm	30 x 20 x 15 cm	32 x 15 x 6,5 cm
Peso promedio (kg)	5,8954	8,6625	5,3645

4.2.1. Estado de las Unidades Previo a su Colocación. La integridad de las unidades de mampostería, depende del fabricante, al momento de colocarse las unidades de mampostería, deben estar limpias y libres de imperfecciones, (Figura 4), que afecten negativamente las propiedades mecánicas o físicas del muro. Las unidades de arcilla cocida que excedan una tasa inicial de absorción de 0.15 gramos por minuto por cm² determinada según la norma NTC 4017 (ASTM C67), debe humedecerse convenientemente antes de colocarlas [5], (Figura 5).

Figura 4. *Las unidades saturadas en agua*



Figura 5 *Unidades con imperfecciones*



4.2.1. Mortero de Pega. El mortero está usualmente compuesto de agua, cemento y arena, (Figura 6), Los morteros de pega utilizados en construcciones de mampostería deben cumplir la norma NTC 3329 (ASTM C270) [6].

Figura 6 *Mortero de pega*



La integridad en el caso del mortero, depende tanto del proceso de elaboración como de colocación, y son parámetros que definen su calidad. Con excepción de morteros extremadamente débiles.

4.2. ELABORACIÓN DE LOS ESPECÍMENES

Se construyeron 24 pilas y 30 muretes prismáticos cuadrados de mampostería en arcilla, se deben elaborar según los lineamientos de la NTC 3495 (ASTM E447) [7], la NTC 4925 [8] y la NSR-10 (D.3.7.2). Para la elaboración de estos fue necesario contratar una persona experimentada en la construcción de muros

4.2.1. Construcción de Pilas. La construcción de los especímenes se realizó en el laboratorio de caracterización de materiales Álvaro Beltrán Pinzón de la Universidad Industrial de Santander. (UIS). Uno de los parámetros esenciales de las pilas de mampostería a definir en esta investigación es la altura, esta característica se definió usando el rango de esbelteces especificado en la NSR 10 (título D).

Corrección por esbeltez: El valor de f_m' debe corregirse multiplicándolo por el factor de corrección por esbeltez del murete dado en la tabla D.3.7-1. [3].

H /B	1,3	1,5	2,0	2,5	4,0	5,0
Factor de corrección	0,8	0,9	1,0	1,0	1,2	1,2

La relación ancho espesor se realizó con el promedio de las pilas tipo. (Tabla 2).

Tabla 2. *Factor de corrección por esbeltez para $f'm$*

	<i>H-10</i>	<i>H-15</i>	<i>Tolete</i>
<i>Relación (H/B)</i>	4,06	4,23	4,94
<i>Factor de corrección</i>	1,15	1,17	1,22

La resistencia del murete de mampostería Se estimó experimentalmente con el ensayo de 4 muestras por cada tipo de unidad repetitiva de la región de

Bucaramanga (H-10; H-15; tolete), cada tipo de pila con las mismas dimensiones características y calidad del mortero (1:3; 1:5) correspondientemente, para un total de 24 pilas.

Las pilas de bloque H-10 y ladrillo tolete consistieron de 2 unidades de mampostería y una junta intermedia con mortero de pega de aproximadamente 1 a 2 cm, cuatro se hicieron con mortero pobre, relación 1:5 (cemento, arena), y cuatro con mortero bueno, relación 1:3 (cemento, arena), respectivamente.

Las pilas de bloque H-15 consistieron de 3 bloques y dos juntas intermedias con mortero de pega de aproximadamente 1 a 2 cm, cuatro se hicieron con mortero pobre, relación 1:5 (cemento, arena), y cuatro con mortero bueno, relación 1:3 (cemento, arena).

Inmediatamente se terminó la elaboración de las pilas, se recubrió con bolsas impermeables, Los especímenes se almacenaron en el laboratorio al menos durante 28 días antes de realizar las pruebas correspondientes.

Antes de ensayar los especímenes se deben refrentar (pulir) las irregularidades de las superficies, se refrento su cara superior e inferior con yeso de alta resistencia, para verificar los criterios de alineación se empleó un nivel de burbuja.

Para la preparación del ensayo se le midió a cada muestra, la altura, el largo y el ancho, (Figura 7). Promediando las cuatro medidas para cada dimensión, (Tabla.3).

Tabla 3. Dimensiones promedio de las pilas para los ensayos.

	Pila	L (cm)	t (cm)	H (cm)	A (cm ²)
Mortero 1:3	H-10	30	10,2	41,7	306,77
	H-15	30,5	15,1	64,5	463,41
	Tolete	31,9	6,59	32,7	210,34
Mortero 1:5	H-10	30,9	10,2	41,1	316,14
	H-15	30,4	15,1	63,9	462,08
	Tolete	31,7	6,6	32,4	209,72

Figura 7. Altura, largo y ancho de pilas



4.2.1. Construcción de Muretes. La construcción de los especímenes se realizó en el laboratorio de caracterización de materiales Álvaro Beltrán Pinzón de la Universidad Industrial de Santander. (UIS).

Se construyeron como mínimo tres muros de mampostería para cada clase de unidad y tipo de mortero especificado, para un total de 30 muros de mampostería, (Figura 8).esto de acuerdo a la NSR-10 (D.3.7.2.2 para la Determinación del valor de f'_m — El valor de f'_m , para una muestra debe ser el promedio obtenido del ensayo de 3 muretes de igual procedencia, pero no debe ser mayor del 125 por ciento del menor valor obtenido en los ensayos.

Figura 8. *Muros de mampostería*



Es recomendable saturar las unidades antes de su colocación y extraerlas con la anticipación suficiente que permita que sus superficies se encuentren en estado

de succión que asegure una adecuada adherencia con el mortero, pero no mojadas al punto de tener una película de agua superficial [7].

Los muretes de bloque H-10, H-15 y tolete consistieron de 6 bloques en tres filas y dos juntas horizontales intermedias con mortero, tres se hicieron con mortero pobre, relación 1:5 (cemento, arena), y siete con mortero bueno, relación 1:3(cemento, arena), de estos siete se frisaron 3 con mortero bueno. (Figura 9), respectivamente.

Inmediatamente se terminó la elaboración de los muretes, se recubrieron con bolsas impermeables, (Figura 10), y se almacenaron en el laboratorio hasta cumplir los 28 días de curado, para después realizar las pruebas correspondientes, antes de ensayar los muretes se procedió a medir sus dimensiones. (Tabla 4).

Tabla 4. Dimensiones promedio de muretes;

Dónde: **f** =frisado; **sf** =sin frisar

		B (cm)	H (cm)	t (cm)	Diag. (cm)
H-10	f	63,1	62,82	11,38	88,85
	sf	63,1	62,67	10,02	88,38
H-15	f	63,03	62,76	16,43	88,65
	sf	62,77	62,76	15,26	88,53

Figura 9. *Frisado de muros*



Figura 10. *Sellado en bolsas impermeables durante 28 días*



Los especímenes se refrentaron (pulieron) las irregularidades de las superficies, su cara superior e inferior con lija de trapo y una pulidora con el fin de que la

superficie fuera totalmente uniforme, (Figura 11), también se empleó un nivel de burbuja para garantizar la alineación de las caras y ajustar la platina a la superficie de contacto.

Figura 11. *Refrentado de los muretes con lija*



5. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL

Al Determinar las curvas de comportamiento esfuerzo deformación de muretes construidos con unidades de mampostería representativas de la ciudad de Bucaramanga. Fue necesario Evaluar el comportamiento resistente a nivel individual y en conjunto de los 3 tipos de ladrillos (H10; H15; tolete) fabricados en arcilla, según los lineamientos de las normas Técnicas Colombianas vigentes NTC y NSR 10. Se hizo uso de máquinas de pruebas Para Establecer las curvas esfuerzo deformación y determinar el módulo de elasticidad y la resistencia al corte de muretes, según la norma NTC 3495, NTC 4205, NTC 3546 y NTC 4017.

5.1.MAQUINAS DE PRUEBA

Se utilizó la prensa hidráulica, manejada para ensayos de resistencia a compresión simple de unidades de mampostería y resistencia de cubos de mortero. La máquina universal (MTS 810) material testing system con un rango de capacidad de fuerza de 25 KN a 500 KN, utilizadas para las pruebas de pilas y muretes de mampostería, (Figura 12). Estas máquinas fueron controladas por los laboratoristas encargados.

Se necesitaron dos platinas, una para ubicar en la parte inferior del muro y la otra en la parte superior, (Figura 13). Las dos platinas de carga se adquirieron, y según sus características fueron elaborados en acero laminado en frío y otras especificaciones dadas en la norma ASTM.

Figura 12. (a) Prensa hidráulica (b) Máquina universal (MTS)



(a)



(b)

Figura 13. Platinas ubicadas en la parte superior e inferior de la MTS



5.2. PROCESO EXPERIMENTAL

Las unidades de mampostería deben tener ciertas propiedades físicas, para que su funcionamiento en el muro sea el adecuado. Las principales propiedades de unidades son:

- Absorción de agua
- Resistencia a la compresión.

Se realizaron cinco tipos de ensayos: absorción, compresión de unidades, resistencia a compresión de mortero, compresión de pilas, y compresión diagonal de prismas.

5.2.1. Absorción de Agua. La absorción es la propiedad de la unidad para absorber agua hasta llegar al punto de saturación. Está directamente relacionado con la permeabilidad de la unidad o el paso de agua a través de sus paredes. Es importante tener los menores niveles de absorción posibles, ya que a mayor absorción de las unidades, éstas sustraen más agua del mortero de pega y del mortero inyección, reduciendo o anulando la hidratación del cemento en la superficie que los une, con lo cual se pierde adherencia y se originan fisuras. Por el contrario, unidades totalmente impermeables evitan el intercambio de humedad y la creación de una superficie de adherencia, dando como resultado uniones de baja resistencia, que se manifiestan como fisuras y que son permeables al agua [5].

Para este ensayo se utilizaron 5 unidades de cada tipo de ladrillo, y se realizaron los ensayos según los lineamientos de la NTC 4017(ASTM C67) [5].

Se pesaron las unidades secas con una aproximación de 0,1 % y se sumergieron durante 24 horas, (Figura 14), se retiraron y se pesaron nuevamente, y se calculó el % de absorción.

Figura 14. *Se sumergen los especímenes secos y fríos*



5.2.2. Resistencia a compresión de las unidades de mampostería. La resistencia a compresión es la principal propiedad de las unidades de albañilería. Los valores altos señalan una buena calidad para todos los fines estructurales y de exposición, los valores bajos en cambio señalan unidades que producirán albañilería poco resistente y poco durable [5].

El ensayo se realizó con unidades secas y enteras, se refrentaron, lijando la superficie de contacto para que la carga fuera aplicada de manera uniforme. El procedimiento para la realización del ensayo, (Figura 15), se basó en los parámetros expuestos por la norma NTC 4017(ASTM C67 [5].

Figura 15. *Ensayo de resistencia a la compresión de unidades de mampostería.*



5.2.3. Resistencia a Compresión de los Cubos de Mortero. Se utilizó mortero en proporción volumétrica 1:3 (cemento: arena); mortero bueno y mortero en proporción volumétrica 1:5 (cemento: arena); mortero pobre, el cemento utilizado fue Portland tipo I y la arena fue tamizada. Las características del mortero se mantuvieron para las muestras extraídas (Figura 16). El procedimiento para la realización del ensayo se basó en los parámetros expuestos por la norma NTC 3546. (ASTM C780) [7].

Figura 16. *Muestras de mortero*



5.2.4. Resistencia a Compresión de Pilas de Mampostería. Se realizaron ensayos de compresión en pilas de mampostería no reforzada de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 3495 (ICONTEC 2003) [9].

El comportamiento y los modos de falla de la mampostería ante cargas axiales dependen en forma importante de la interacción de piezas y mortero; ésta puede interpretarse en la forma siguiente: las piezas y el mortero tienen características esfuerzo-deformación diferentes; por tanto, al ser sometidos a un mismo esfuerzo se produce una interacción entre ambos que consiste en que el material menos deformable, las piezas en general, restringe las deformaciones transversales del material más deformable, introduciendo en él esfuerzos de compresión de dirección transversal. Por lo contrario, en el material menos deformable se introducen esfuerzos transversales de tensión que disminuyen su resistencia respecto a la que se obtiene en el ensayo de compresión simple del material aislado [4].

Después de determinar las características de cada uno de los materiales se hizo necesario establecer el comportamiento en conjunto. Para esto se realizó el ensayo de compresión axial. El día del ensayo, se procedió a una última limpieza de las pilas de mampostería para retirar el polvo, y luego fueron trasladadas hacia el lugar del ensayo.

El ensayo se efectuó en la maquina universal (MTS 810), (Figura 17) después de que los especímenes cumplieron los 28 días de edad y de haber sido refrentados previamente.

Figura 17. *Ensayo de compresión axial.*



Para instalar cada prisma en la máquina de ensayo, se limpiaron los platos de carga superior e inferior para eliminar posibles residuos de otros ensayos, para luego colocar la pila encima del plato de carga inferior, luego, se alineó los ejes centroidales del espécimen con el centro de la máquina de ensayo, (Figura 18).

Figura 18. Pila encima del plato de carga inferior y alineada los ejes centroidales del espécimen con el centro de la máquina de ensayo



El ensayo de compresión axial fue de carga controlada, a una velocidad de 0,025 mm/seg. Las cargas fueron aplicadas hasta provocar la rotura de las pilas, (Figura 19), instante donde se registró la carga máxima que puede soportar la pila de mampostería.

Figura 19. *Pila acabada de fallar*



5.2.5. Ensayo de Compresión Diagonal. Es muy importante conocer el comportamiento mecánico de la mampostería no reforzada bajo este tipo de sollicitaciones, pues es el tipo de acción que con mayor frecuencia produce su falla.

Para estudiar el comportamiento de la mampostería en tensión diagonal se utiliza un ensayo de compresión diagonal. Este ensayo consiste en aplicar una compresión diagonal a un murete de dimensiones aproximadamente cuadradas en las que la base sea formada por lo menos de una y media piezas. NTC 4925. Método de ensayo para determinar la resistencia a la tracción diagonal - cortante - en muretes de mampostería.

En la actualidad, la mayoría de las viviendas del municipio de Bucaramanga están construidas con muros de mampostería de ladrillos huecos de arcilla; Por esto se requiere conocer las propiedades de los materiales y de la mampostería, por esto

se realizaron los respectivos ensayos, para evaluar el módulo de elasticidad y corte como principales parámetros.

El día del ensayo, se procedió a una última limpieza de los muros de mampostería para retirar el polvo, luego fueron trasladadas hacia el lugar del ensayo. Los muretes se transportaron con cuidado a la zona de ensayo, se necesitó un monta carga, (Figura 20), para transportarlo y montarlo a la maquina universal (MTS 810).

Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a la tracción diagonal resistencia a cortante, de muretes de mampostería, al someterlos a compresión por medio de carga aplicada en una de sus diagonales, lo que lleva a la falla por tracción diagonal cuando el espécimen se fractura de manera paralela a la dirección de aplicación de la carga.

Figura 20. *Monta carga para transporte y montaje de los especímenes.*



El ensayo se realizó después de que los especímenes cumplieron los 28 días de edad y de haber sido refrentados anteriormente.

El ensayo de compresión diagonal fue de carga controlada, a una velocidad de 0,025 mm/seg. Las cargas fueron aplicadas hasta provocar la rotura de los muretes, (Figura 21), instante donde se registró la carga máxima que puede soportar el muro de mampostería. La máquina universal MTS 810 nos arroja resultados de carga [kN] Vs deformación axial [mm] con valores negativos ver Figura 22, estos resultados se exportan de un archivo txt. Para luego ser analizados en la herramienta de office Excel.

Al estar sometidos a la aplicación de carga, durante el ensayo, los muros experimentaron una serie de cambios en su estructura que se manifestaron en ruidos, descascaramientos de piezas, fisuras y deformaciones hasta llegar a la falla.

Figura 21. *Muro acabado de fallar*



Figura 22. Carga [KN] vs Desplazamiento [mm]



6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La Verificación de los valores de resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad y resistencia al corte, de las pruebas de laboratorio se compararon con los valores propuestos por las normas Técnicas Colombianas vigentes NTC y las Normas colombinas de diseño y construcción sismo resistente, títulos D y E (NSR10).

6.1. ABSORCIÓN DE AGUA

La absorción se halla mediante la siguiente expresión y la absorción promedio de cada tipo de unidad se muestra en la (tabla 5).

$$\%*absorcion* = \frac{100 * (w_{ss} - w_s)}{w_s}$$

Dónde:

W_{ss} = Peso de la unidad de mampostería saturada luego de 24 horas de inmersión en agua (gr).

W_s = Peso seco de la unidad de mampostería (gr).

Tabla 5. % absorción promedio de cada tipo de unidad

	H-10	H-15	Tolete
peso seco [Kg]	5,8954	8,6625	5,3645
peso saturado [Kg]	6,4916	9,4759	6,2943
% absorción	10,11	9,39	17,35

6.2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE

La resistencia característica a la compresión $f'b$ se halla con las siguientes fórmulas:

$$C = \frac{W}{A}$$

Dónde:

C = Resistencia a compresión del espécimen (Kg/cm²).

W= Carga máxima de rotura (Kg).

A = Promedio de las áreas brutas superior e inferior (cm²).

La resistencia mínima de las unidades para muros de mampostería según el tipo de unida, es para los Toletes de arcilla $f'cu$ es de 15 [Mpa] y para los bloques de perforación horizontal de arcilla $f'cu$ es de 3 [Mpa]. Los resultados de la resistencia promedio a compresión simple de las unidades de mampostería utilizadas para

este proyecto se muestran en la tabla 6, dando resultados por debajo de los valores mínimos para la resistencia de las unidades.

Tabla 6. Resistencia promedio a compresión simple

	H-10	H-15	Tolete
Carga (Kgf)	8226,3	11922,5	11327,2
Área (cm^2)	300	450	205
Resistencia ($\frac{Kgf}{cm^2}$)	27,4	26,5	55,3
Resistencia f'_{cu} (MPa)	2,69	2,54	5,43

6.3. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTEROS.

El mortero de mampostería es un material versátil capaz de satisfacer una variedad de requisitos. La porción relativamente pequeña de mortero por unidad de área de mampostería influye significativamente en el comportamiento de ésta. No hay una mezcla individual de éste que satisfaga todas las situaciones. Sólo un conocimiento sobre los materiales que lo componen y sus propiedades, simple y colectivamente, permitirán seleccionar el tipo adecuado de acuerdo con un uso específico.

El propósito principal del mortero de mampostería es la adherencia de unidades dentro de un ensamble, el cual actúa como elemento integrador con unas características de comportamiento deseadas. El mortero influye en las

propiedades estructurales de la mampostería a la vez que reduce la permeabilidad del muro. De las clasificaciones especificadas por las diferentes normativas, la más empleada y referenciada es la publicada por la NTC 3329 ASTM C270 [6] (Tabla 7).

Tabla 7. Clasificación de los tipos de mortero de acuerdo a su resistencia (ASTM C270).

Designación	Resistencia	Resistencia a la compresión	
		(Psi)	(Mpa)
M	alta	2500	17,2
S	alta media	1800	12,4
N	media	750	5,17
O	baja media	350	2,41
K	baja	75	0,52

Para la construcción de los especímenes se utilizó dos relaciones de mortero, mortero de relación 1:3 (cemento, arena), el cual se clasifico en mortero tipo N, y mortero de relación 1:5 (cemento, arena), el cual se clasifico en mortero tipo O. Se clasifico de acuerdo a los resultados de las pruebas realizadas a las muestras de mortero.

Mortero tipo N: Es el mortero multipropósito para uso en las estructuras de mampostería. Es apropiado para pañetes y paredes interiores de partición. Este mortero de resistencia media es el mejor que combina las propiedades de resistencia, trabajabilidad y economía [10].

Mortero tipo O: Es de alto contenido de cal y baja resistencia para uso en pañetes y pega en paredes poco cargadas y de partición. No endurece en presencia de humedad. Es frecuentemente utilizado en trabajo de mampostería para casas de uno o dos pisos y es el preferido por los mamposteros por su excelente trabajabilidad y bajo costo [10].

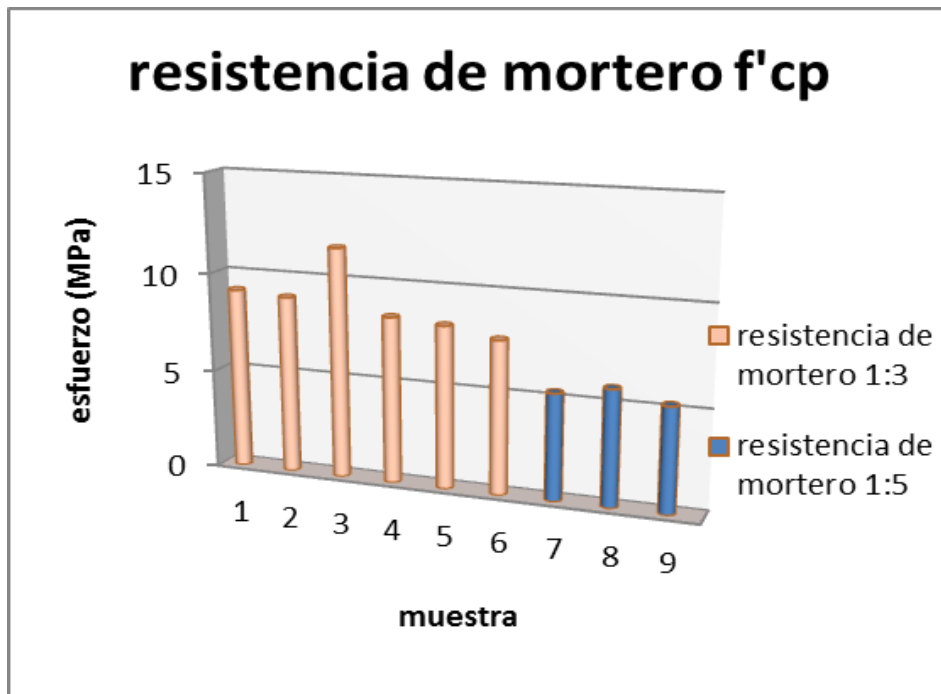
En la (Tabla 8), se observa la resistencia a compresión de los cubos de mortero que se obtuvo en el laboratorio de ingeniería civil de la universidad industrial de Santander. La Figura 23, muestran los esfuerzos de compresión del mortero de pega.

La resistencia promedio para el mortero 1:3 tipo N es de 8,994 Mpa. Y para el mortero 1:5 tipo O es de 5,511 Mpa. Los valores altos de resistencia de mortero aportan una buena calidad a los fines constructivos, los valores bajos en cambio señalan resistencia de morteros que provocarán mampostería poco resistente y poco durables.

Tabla 8. Resistencia a la Compresión de Mortero

	Muestra	Esfuerzo fcp (MPa)	Promedio f'cp
Mortero 1:3 tipo N	1	9,14	9,14
	2	8,95	
	3	11,59	
	4	8,38	
	5	8,19	
	6	7,71	
Mortero 1:5 tipo O	7	5,38	5,51
	8	5,85	
	9	5,30	

Figura 23. Resistencia a compresión del mortero



6.4. RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL.

Para calcular la resistencia a la mampostería, se debe calcular separadamente para cada tipo de espécimen dependiendo de sus dimensiones y característica.

Los valores obtenidos de laboratorio se deben multiplicar por el factor de corrección de la tabla 2. Por último se debe calcular la resistencia a compresión de la mampostería f_{mt} para cada juego de pilas, promediando los valores obtenidos.

Los datos obtenidos por la MTS 810 maquina universal, son la carga [KN] Vs deformación acumulada, a partir de estos datos se termina la curva esfuerzo [Mpa] Vs deformación unitaria, (Figura 24) para esto fue necesario determinar la altura de la pila y conocer el área neta que tiene el murete ensayado.

Figura 24. Carga [KN] Vs Deformación acumulada [mm]



Por medio de ensayos sobre materiales individuales.- El valor de f_m basado en la calidad de los materiales se puede determinar con base en una correlación apropiada de la calidad de los materiales empleados. En ausencia de tal correlación, el valor de f_m se puede determinar mediante la siguiente ecuación (NSR-10 D-3-7-1).

$$R_m = \left[\frac{2 * h}{75 + 3 * h} \right] f'_{cu} + \left[\frac{50 * kp}{75 + 3 * h} \right] f'_{cp}$$

$$R_m \leq 0,8 * f'_{cu}$$

$$f'_m = 0,75 * R_m$$

Dónde:

f'_{cu} = resistencia especificada a la compresión de la unidad de mampostería medida sobre área neta, Mpa.

f'_{cp} = resistencia especificada a la compresión del mortero de pega, Mpa

R_m = parámetro definido por medio de la ecuación D.3.7-1

kp = factor de corrección por absorción de la unidad, adimensional.

f'_m = resistencia nominal a la compresión de la mampostería, Mpa.

Con base a los resultados obtenidos de f'_{cu} (tabla 6), de unidades de mampostería y la calidad del mortero f'_{cp} (tabla 8), los valores de R_m son menores al 80 % de f'_{cu} , dando cumplimiento al parámetro de control especificado en la ecuación (D-3-7-1) de la NSR-10 y determinando teóricamente el valor de f'_m para cada tipo de pila, (tabla 9).

Por otro lado el módulo de elasticidad teórico E_m se define según la ecuación (D.5.2-3), obteniéndose un valor teórico correspondiente para cada tipo de pila (tabla 9)

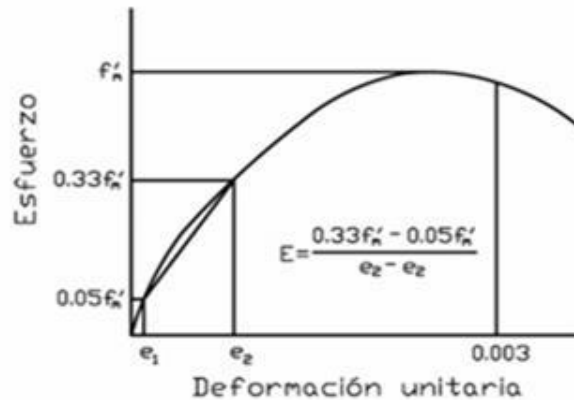
$$E_m = 750 f'_m \leq 20000MPa \quad (D.5.2-3)$$

Tabla 9. Resistencia especificada f'_m según NSR10

	Rm	f'm Teórico [Mpa]	Em Teórico
H-10 1:3	2,13	1,60	1196
H-10 1:5	1,92	1,44	1080
H-15 1:3	1,99	1,49	1121
H-15 1:5	1,80	1,35	1014
Tolete 1:3	3,79	2,84	2130
Tolete 1:5	3,52	2,64	1981

Módulo de elasticidad: Para la evaluación del módulo de elasticidad de cada prisma ensayado se toma el valor de la deformación en el 5% del máximo del esfuerzo y en la deformación en el 33% del máximo esfuerzo, como lo indica la NSR-10 capítulo D.3.7.2, calculando la pendiente con estos valores de la gráfica esfuerzo vs. Deformación, siendo este valor (E_m) [3] (Figura 25).

Figura 25. *Calculo del módulo de elasticidad (pendiente)*



En la (Tabla 10), (tabla 11), y (tabla12), se observan los resultados de carga, área neta, altura, esfuerzo y módulo de elasticidad de pilas de mampostería, para las unidades H-10, H-15 y toletes, respectivamente, teniendo en cuenta que M-1:3 es mortero tipo N y para M-1:5 es mortero tipo.

Tabla 10. *Esfuerzo y módulo de elasticidad de pilas de mampostería H-10*

H-10						
	N°.	carga [KN]	Altura [mm]	Área [mm ²]	Esfuerzo [Mpa]	Em [MPa]
M-1:3	1	53,6	415,8	30777	1,74	360
	2	62,8	420,3	31059	2,02	298
	3	46,5	415,3	31205	1,49	385
	4	69	418,5	30779	2,24	416
M-1:5	13	34,9	414,5	31211	1,12	299
	14	43,6	408,8	31390	1,39	244
	15	45,9	411,3	31977	1,43	276
	16	19,7	411,5	31493	0,63	236

Tabla 11. Esfuerzo y módulo de elasticidad de pilas de mampostería H-15

H-15						
	N°.	Carga [KN]	altura [mm]	Área [mm ²]	Esfuerzo [Mpa]	Em [MPa]
M-1:3	5	60,5	646	46208	1,31	376
	6	51,9	642,8	45826,3	1,13	320
	7	-----	-----	-----	-----	-----
	8	45,1	657,3	45451	0,99	283
M-1:5	17	22,5	639	45074,8	0,50	235
	18	49,5	640	46779,7	1,06	207
	19	24,6	637,3	45979,5	0,53	166
	20	28,5	637,5	45790,9	0,62	207

Tabla 12. Esfuerzo y módulo de elasticidad de pilas de mampostería tolete

Tolete						
	N°.	Carga [KN]	Altura [mm]	Área [mm ²]	Esfuerzo [Mpa]	Em [MPa]
M-1:3	9	77,0	328,3	20740,5	3,71	439
	10	100,6	325,5	20974,3	4,80	545
	11	83,6	330,3	21216,6	3,94	476
	12	131,3	330,3	21266,3	6,17	493
M-1:5	21	85,4	314,8	20885,3	4,09	333
	22	81,5	326,8	20927,3	3,89	359
	23	85,7	326,8	20856,0	4,11	264
	24	79,3	326,5	20777,0	3,82	420

Basados en los datos de esfuerzo máximo y módulo de elasticidad, producto del ensayo de compresión axial, registrados anteriormente y confrontados en la gráficas (Figura 26), (Figura 27), y (Figura 28), se buscó determinar un valor representativo de esfuerzo y módulo de elasticidad para cada tipo de pila, de modo que se tomaron los valores promedios para la muestra, y se lograron los datos expresados en la (tabla 13), (Figura 29, Figura 30).

Figura 26. Curva de comportamiento esfuerzo deformación pilas H-10

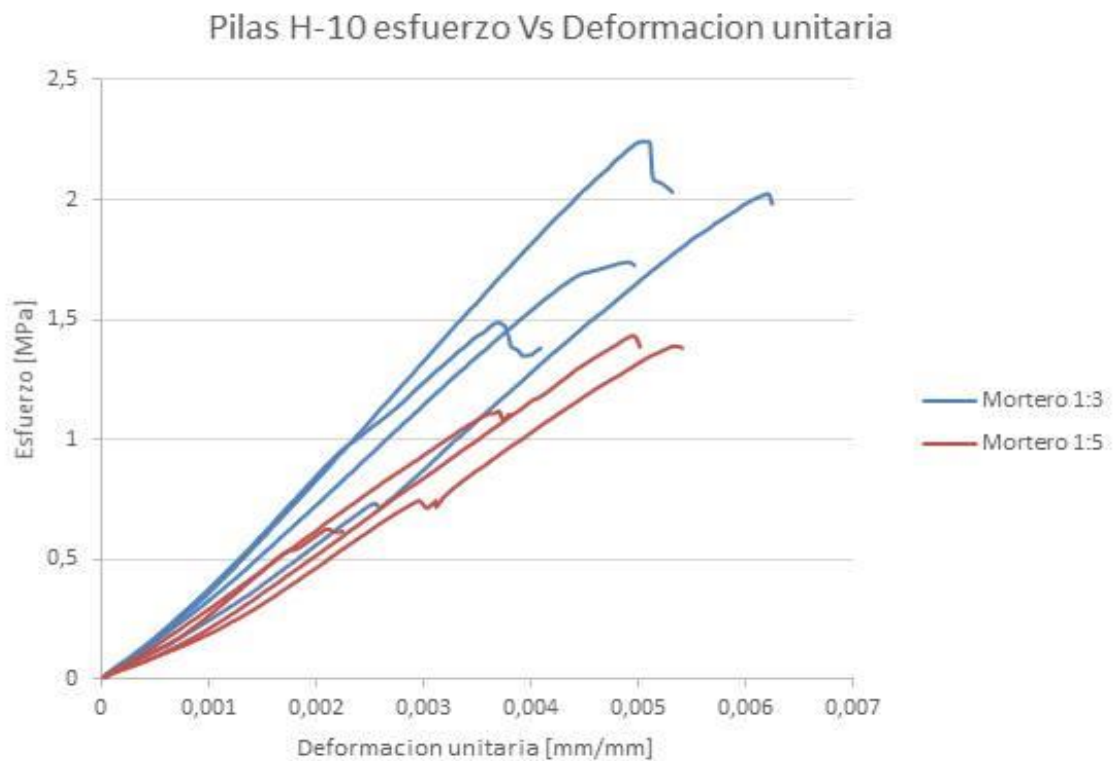


Figura 27. Curva de comportamiento esfuerzo deformación pilas H-15

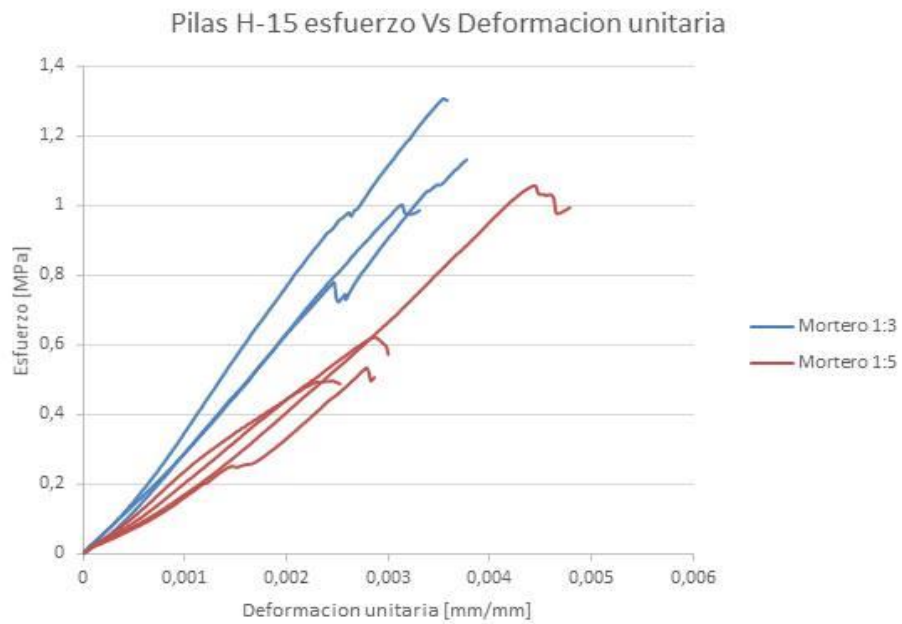


Figura 28. Curva de comportamiento esfuerzo deformación pilas Tolete

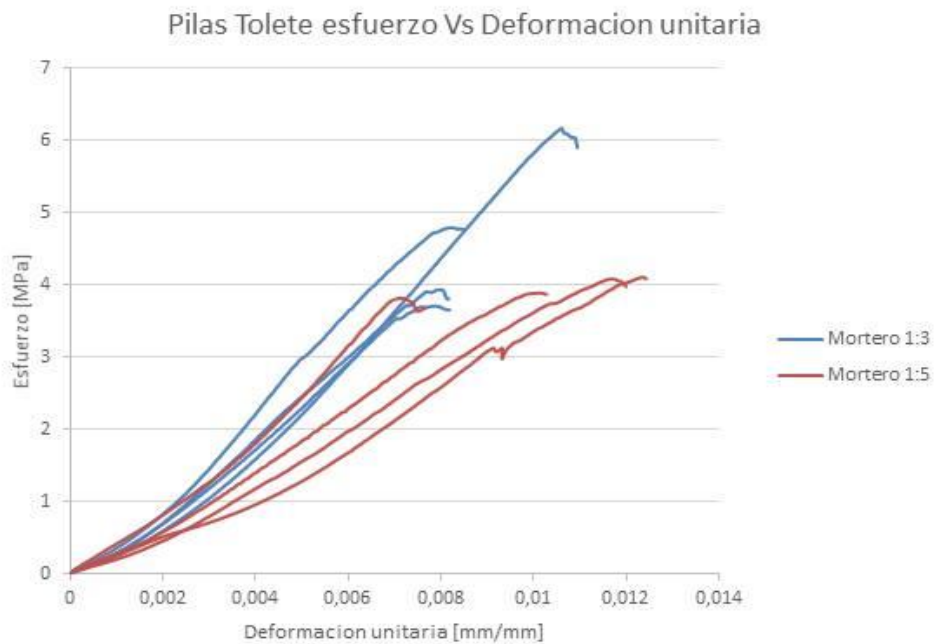


Figura 29. Resistencia promedio de pilas de mampostería

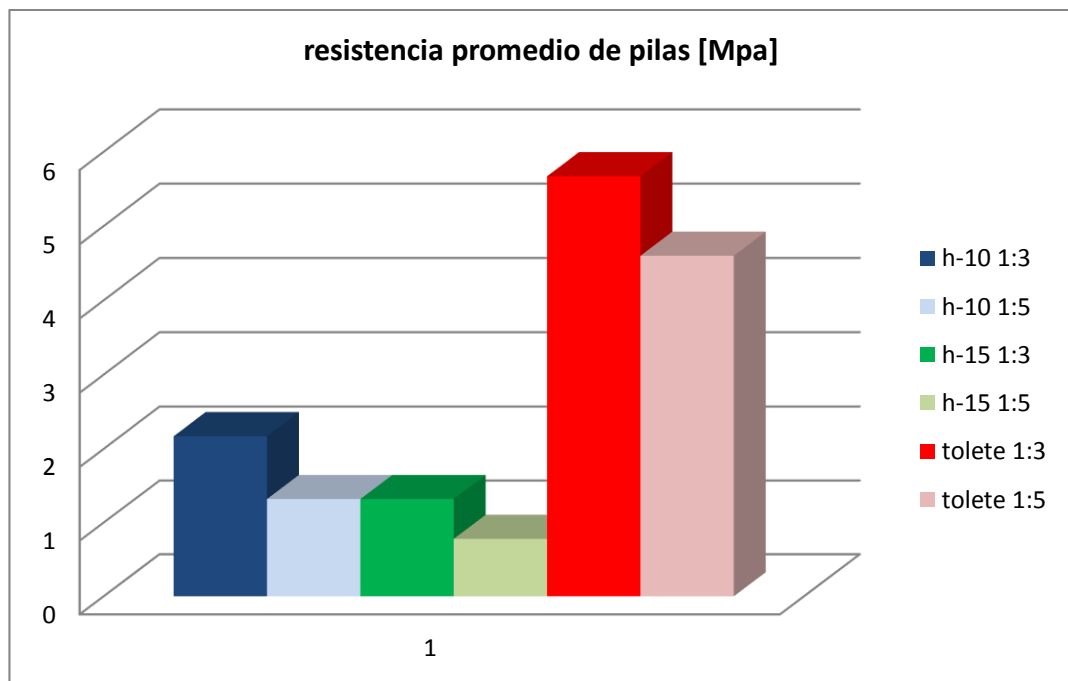


Figura 30. Módulo de elasticidad promedio de las pilas de mampostería [MPa]

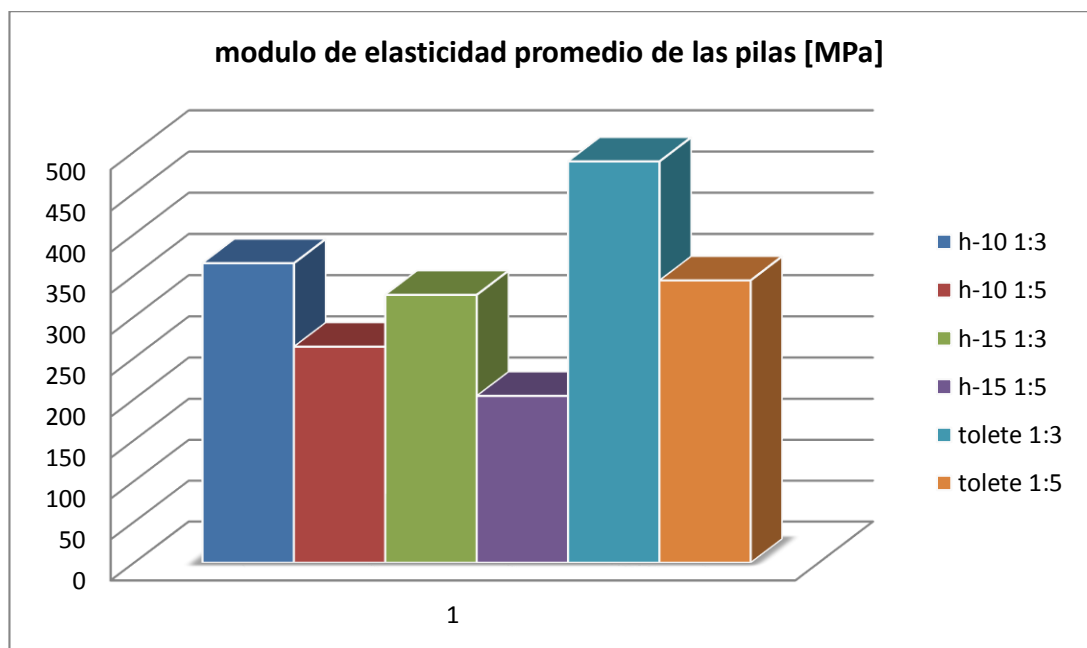


Tabla 13. *Esfuerzo y módulo de elasticidad promedio de pilas de mampostería*

	H-10 1:3		H-10 1:5		H-15 1:3		H-15 1:5		Tolete 1:3		Tolete 1:5	
	f'm	Em	f'm	Em	f'm	Em	f'm	Em	f'm	Em	f'm	Em
Promedio	1,87	364,93	1,14	263,63	1,14	326,46	0,68	203,89	4,66	488,38	3,98	344,03
Desv. Est. [Mpa]	0,33	50,38	0,37	28,98	0,16	46,70	0,26	28,13	1,11	44,23	0,14	64,74
%CV	0,18	0,14	0,33	0,11	0,14	0,14	0,38	0,14	0,24	0,09	0,04	0,19
factor corrección	1,16	-----	1,16	-----	1,16	-----	1,16	-----	1,22	-----	1,21	-----
f'm exp	2,17	-----	1,32	-----	1,32	-----	0,78	-----	5,67	-----	4,85	-----

Si los materiales utilizados en la construcción de muros de mampostería tienen las características estipuladas por la NSR-10, es de mayor probabilidad que presenten un comportamiento en conjunto unidad – mortero. De lo contrario se obtendrán otros comportamientos diferentes. En las siguientes (tabla 14) y (tabla 15) se muestra la confrontación de los datos teóricos con los experimentales.

Tabla 14. *Confrontación de datos de f'm experimentales vs datos f'm teóricos*

	f'm [Mpa] Teórico	f'm [Mpa] exp	% Error
H-10 1:3	1,6	2,17	36
H-10 1:5	1,44	1,32	8,4
H-15 1:3	1,49	1,33	11
H-15 1:5	1,35	0,78	42,3
Tolete 1:3	2,84	5,67	99,7
Tolete 1:5	2,64	4,6	74,2

Tabla 15. Confrontación de datos Em experimentales vs datos Em teóricos

	Em Teórico [Mpa]	Em exp [Mpa]	% Error
H-10 1:3	1196,3	364,93	69,5
H-10 1:5	1080,3	263,63	75,6
H-15 1:3	1120,6	326,46	70,9
H-15 1:5	1014,2	203,89	79,9
Tolete 1:3	2129,7	488,38	77,1
Tolete 1:5	1980,6	344,03	82,6

6.5. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAGONAL

Para determinar experimentalmente la resistencia ($v'm$), depende tanto de la carga última como del área neta del promedio de las diagonales del murete (ASTM E 519-81) [8], tal como se muestra a continuación:

$$\tau = \frac{0,707 P_u}{A_n}$$

Dónde:

τ : Esfuerzo cortante sobre área neta ($\frac{N}{mm^2}$)

P_u : Carga de rotura (N)

A_n : Área neta del espécimen (mm^2) calculada como sigue:

$$A_n = \left(\frac{w + h}{2}\right) * t * n$$

Dónde:

w = ancho del espécimen, mm

h = alto del espécimen, mm

t = espesor total del espécimen, mm, y

n= porcentaje del área total de la unidad que es sólida, expresada como decimal.

El módulo de corte se puede calcular según la expresión:

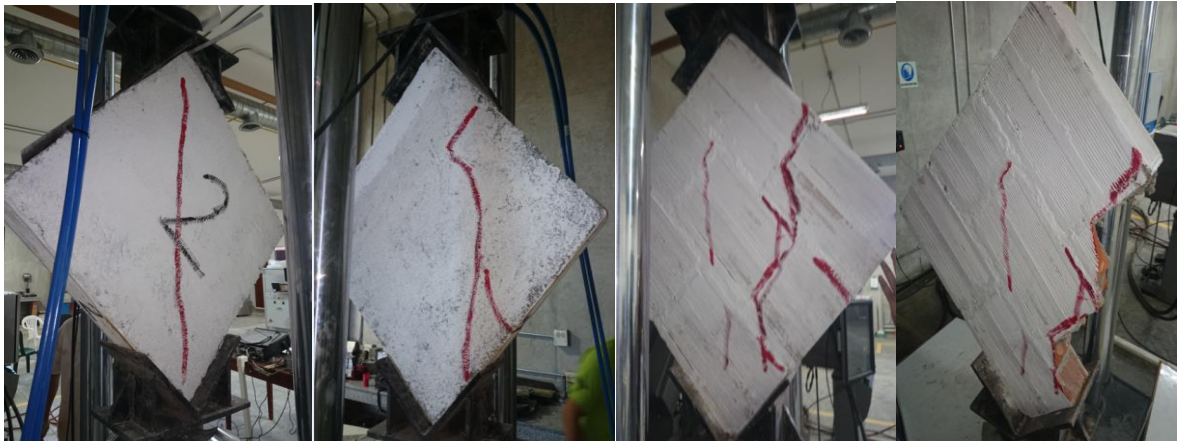
$$G_m = 0,4 * E_m$$

La falla actuante en los muros de mampostería procedente de acciones sísmicas es variable. Debido a que estos se ven afectados por las propiedades mecánicas individuales y en conjunto de los materiales que la componen.

La falla de un muro por efecto de fuerzas cortantes ocurre generalmente a través de grietas inclinadas debidas a tensiones diagonales. Estas grietas se forman generalmente a lo largo de las juntas, propiciadas por la debilidad de la unión pieza-mortero; sin embargo, para piezas con baja resistencia y buena adherencia con el mortero, las grietas atraviesan indistintamente piezas y mortero.

En la (Figura 31) se muestran los principales tipos de falla de la mampostería en un ensayo de compresión diagonal. En los muretes se presentaron grietas diagonales, grietas escalonadas continuas y no continuas, desplazamientos horizontales y mortero fisurado en las juntas,

Figura 31. *Principales tipos de fallas de compresión diagonal*



Se establecieron las curvas de comportamiento esfuerzo deformación de los muretes construidos con unidades de mampostería y se verifica que tanto se ajustan los valores a la compresión, el módulo de elasticidad y resistencia al corte de las pruebas de laboratorio con los valores teóricos

Apoyados en los datos de esfuerzo máximo y módulo de corte, producto del ensayo de compresión diagonal, registrados en la (tabla 16), (tabla 17) y (tabla 18) y confrontados en la gráficas (Figura 32), se buscó determinar un valor representativo de esfuerzo y módulo de corte para cada tipo de muro, de modo que se tomaron los valores promedios para la muestra, y se lograron los datos expresados en la (tabla 19), (Figura 33), y (Figura 34).

El módulo de elasticidad se ve afectado por las características y la calidad de los elementos que componen el muro, de la capacidad de carga que tiene la unidad de mampostería, el mortero de pega diseñado y la mano de obra que realizo la

construcción. Estos factores afectan la capacidad de los muros a resistir sismos, haciéndolos vulnerables.

Figura 32. Curvas esfuerzo de corte vs deformación por corte

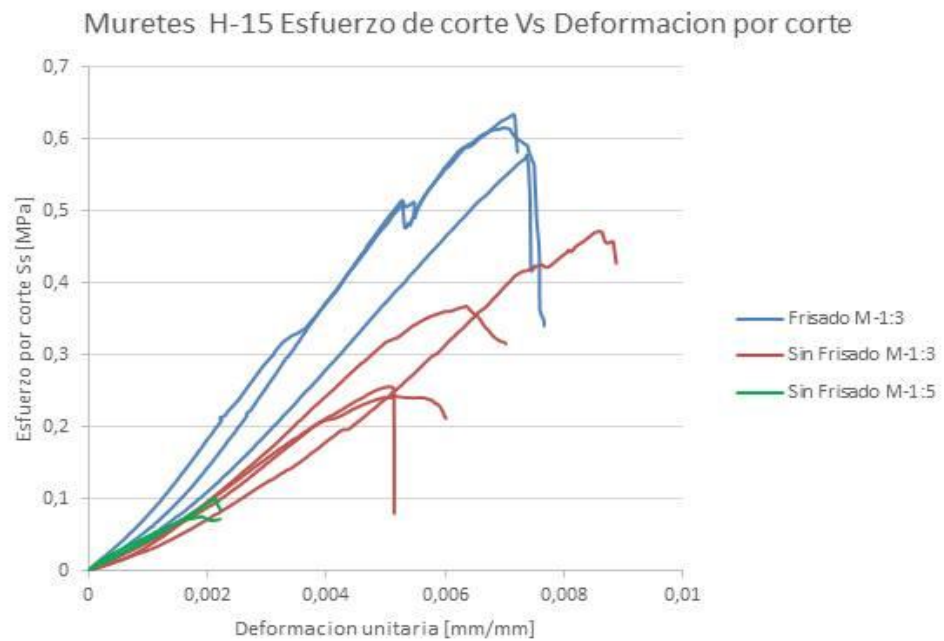
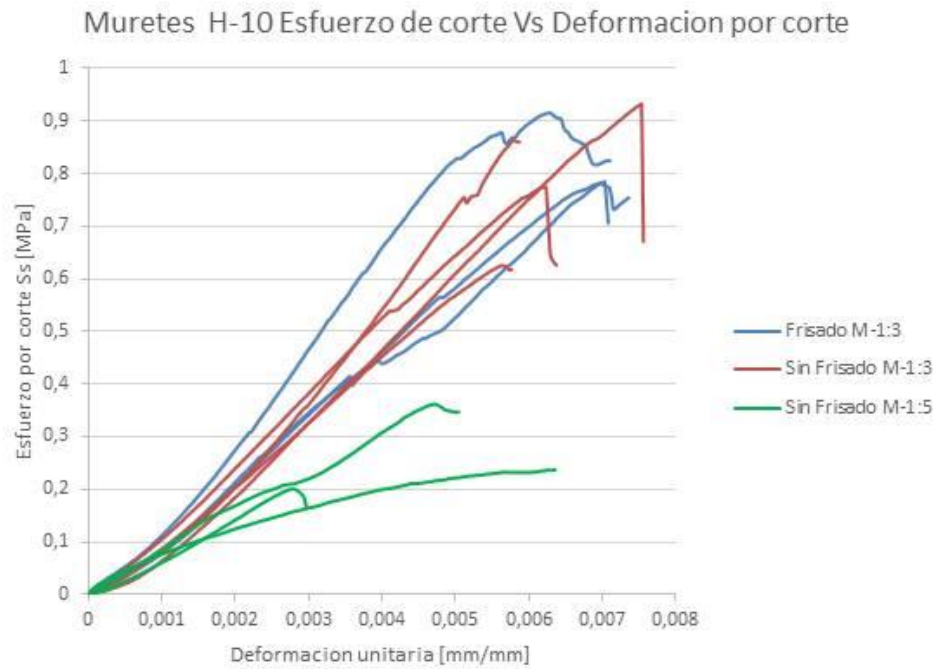


Figura 33. Curvas esfuerzo de corte vs deformación por corte

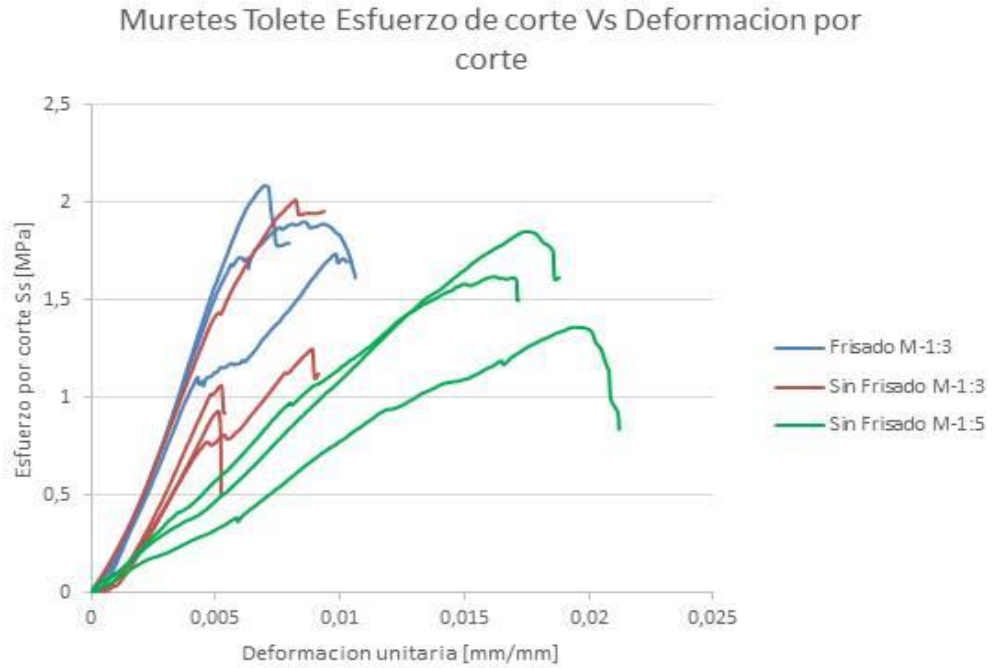


Tabla 16. Esfuerzo y módulo de corte de muretes de mampostería H-10

	Tipo	Muestra	B _{prom} [mm]	H _{prom} : [mm]	t prom: [mm]	Área [mm ²]	Carga [KN]	Esfuerzo cortante [MPa]	G _m [MPa]
H-10	Frisado- M-1:3	1	630	627	113	70720	91,52	0,91	162
		2	627	628	113	70908	78,42	0,78	130
		3	631	629	112	70689	78,45	0,78	136
	Sin Frisado- M-1:3	4	630	624	100	62688	55,00	0,62	115
		5	632	622	101	62963	83,04	0,93	136
		6	634	631	100	63275	69,30	0,77	133
		7	634	632	101	63775	77,89	0,86	139
	Sin Frisado- M-1:5	22	632	625	102	63937	21,41	0,24	73
		23	628	621	100	62556	17,94	0,20	71
		24	632	627	102	63844	32,65	0,36	91

Tabla 17. Esfuerzo y módulo de corte de muretes de mampostería H-15

	Tipo	Muestra	Bprom [mm]	Hprom: [mm]	t prom: [mm]	Área [mm ²]	Carga [KN]	Esfuerzo cortante	Gm [MPa]
H-15	Frisado-M-1:3	8	627	632,8	161,3	101567,3	91,23	0,64	111
		9	634,8	621,0	163,5	102657,6	83,96	0,58	84
		10	631,5	628,8	163,0	102710,4	89,57	0,62	121
	Sin Frisado-M-1:3	11	629,8	630,5	153,3	96566,7	64,51	0,47	51
		12	633	630,3	153,0	96638,6	50,30	0,37	65
		13	624	629,3	151,0	94620,4	32,54	0,24	45
		14	624,5	625,5	153,0	95625,0	34,68	0,26	50
	Sin Frisado-M-1:5	25	632,8	630,0	152,0	95969,0	10,30	0,08	53
		26	619	634,5	152,5	95579,4	----	-----	----
		27	621,3	633,8	152,3	95536,9	13,67	0,10	40

Tabla 18. Esfuerzo y módulo de corte de muretes de mampostería Tolete

	Tipo	Muestra	Bprom [mm]	Hprom: [mm]	t prom: [mm]	Área [mm ²]	Carga [KN]	Esfuerzo cortante	Gm [MPa]
Tolete	Frisado-M-1:3	19	492	486	85	41310	111,12	1,90	287
		20	495	489	87	42943	105,52	1,74	246
		21	486	481	84	40372	119,10	2,09	318
	Sin Frisado-M-1:3	15	487	483	67	32236	48,41	1,06	195
		16	486	480	64	30896	40,69	0,93	204
		17	487	486	67	32587	92,76	2,01	267
		18	485	486	64	31072	54,96	1,25	188
	Sin Frisado-M-1:5	28	490	489	65	31818	83,27	1,85	98
		29	487	490	65	31622	60,87	1,36	68
		30	482	495	66	31964	73,29	1,62	116

Tabla 19. *Esfuerzo y módulo de corte promedio de muros de mampostería*

			Prom	Desv. Est. [Mpa]	% CV
H-10	1:3 frisado	τ	0,83	0,08	0,09
		Gm	142,7	17,3	0,1
	1:3 sin frisar	τ	0,8	0,13	0,17
		Gm	130,6	10,8	0,1
	1:5 sin frisar	τ	0,27	0,08	0,31
		Gm	78,1	10,9	0,1
H-15	1:3 frisado	τ	0,61	0,03	0,05
		Gm	105,4	19,1	0,2
	1:3 sin frisar	τ	0,33	0,11	0,32
		Gm	53	8,5	0,2
	1:5 sin frisar	τ	0,09	0,02	0,2
		Gm	46,7	9	0,2
Tolete	1:3 frisado	τ	1,91	0,17	0,09
		Gm	283,4	36,2	0,1
	1:3 sin frisar	τ	1,31	0,48	0,37
		Gm	213,6	36,3	0,2
	1:5 sin frisar	τ	1,61	0,24	0,15
		Gm	93,8	24,3	0,3

7. CONCLUSIONES

- La capacidad de carga estuvo por debajo de los valores mínimos para la resistencia de las unidades de mampostería f'_{cu} que especifica la NSR-10 en el título (D.10.3.2.1), donde para toletes de arcilla f'_{cu} es de 15 [Mpa] y para bloque de perforación horizontal de arcilla f'_{cu} es de 3 [Mpa], en las unidades de mampostería empleadas se obtuvieron valores promedios para tolete de 5,51 [Mpa] y para las unidades de perforación horizontal H-10 de 2,7 [Mpa] y H-15 de 2,6 [Mpa]., por lo tanto la baja resistencia en las unidades de mampostería es una posible causa de que los valores de módulo de elasticidad y de corte dieran inferiores a los especificados en la NSR-10.
- Los muros construidos con ladrillos H-10, y tolete arrojaron valores de esfuerzo promedio mayores al valor de f'_m basados en la calidad de los materiales, según la norma NSR-10, sin embargo en los muros construidos con ladrillos H-15 sus esfuerzos promedio fueron menores al esperado.
- Al evaluar los resultados se observó que las propiedades de los materiales actuantes en los muretes son inferiores de lo esperado, puesto que su contribución al momento de ensayar los especímenes afectaron los resultados de módulos de elasticidad y corte por el orden de 70 – 80 % más bajos en comparación con los valores teóricos.
- las pilas elaboradas con ladrillo H-10 y H-15 presentaron fallas frágiles y explosivas, en las pilas de tolete fallas de fisuramiento, y en los muretes se presentaron grietas diagonales, grietas escalonadas continuas y no continuas,

desplazamientos horizontales y mortero fisurado en las juntas, deduciendo a que la falla posiblemente ocurriera por la calidad del mortero.

- Al estar sometidos a la aplicación de carga, durante el ensayo, los muros experimentaron una serie de cambios en su estructura que se manifestaron en ruidos, descascaramientos de piezas, fisuras y deformaciones hasta llegar a la falla. Los resultados muestran que los valores de desplazamientos de los muretes y pilas estuvieron por el orden de 2 a 6 mm, estos desplazamientos son por lo general más bajos para este tipo de mampostería, debidos a estos altos desplazamientos y a pesar de que la resistencia a la compresión de estos fue aceptable los módulos de elasticidad y modulo al corte se vieron afectado presentando valores experimentales por debajo de lo que en teoría debería dar Tablas 14; Tabla 15.

- Los resultados presentan valores de desplazamientos generalmente más altos en los muretes y pilas construidas con una calidad de mortero tipo O de relación 1:5 de menor resistencia, en comparación con el mortero tipo N relación 1:3 de mayor resistencia. Esto nos confirma que al disminuir la calidad de los materiales de relleno se genera una mayor influencia en la respuesta sísmica.

- La tendencia de las curvas de esfuerzo deformación de los muretes muestra que para muros frisados con respecto a los muros sin frisar ofrecen una mayor resistencia a la compresión y mayores módulos de elasticidad y de corte, estas tendencia ha sido analizada teniendo en cuenta las respuestas de cada ensayo donde se corrobora que el friso generalmente muestra mejores rendimientos en comparación con los demás resultados.

- Si los materiales utilizados en la construcción de muros de mampostería tienen las características estipuladas por la NSR-10 es de mayor probabilidad que estos presenten un comportamiento conjunto unidad-mortero. De lo contrario se obtendrán otros comportamientos diferentes a los esperados según la NSR-10.

- En esta investigación se obtuvieron valores bajos de resistencia de mortero en comparación con la NSR-10, siendo esta una posible causa de que los resultados de resistencia, módulo de elasticidad y de corte dieran inferiores a los establecidos.

CITAS BIBLIOGRAFICAS

[1] KAUSHIK. Hemant B. Stress-strain characteristics of clay brick masonry under uniaxial compression. In: Journal of materials in civil engineering ASCE. 2007. pp. 728-739.

[2] TAKEUCHI. Caori Patricia. Comportamiento en la mampostería estructural. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2007. 6 p

[3] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL; AIS. Reglamento colombiano de Construcciones Sismo resistentes. NSR-10, Titulo D. Bogotá D.C.: 2010. D-16, D-34, pp.

[4] SÁNCHEZ CANTILLO. Carlos Alberto, Metodologías de diseño para edificaciones en mampostería estructural basadas en la norma Colombiana de diseño y construcción sismo-resistente, NSR-98. Trabajo de grado Ing. civil Bucaramanga.: Universidad industrial de Santander. Facultad físico-mecánicas 2004. 4 p

[5] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Método de ensayo para unidades de mampostería de arcilla cocida. NTC 4017 /ASTM C67. Bogotá, 30 de 11 de 2005.

[6] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Especificaciones del mortero para unidades de mampostería. NTC 3329 /ASTM C270. Bogotá, 28 de 07 de 2004.

[7] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Resistencia a la compresión de prismas de mampostería. método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería. NTC 3495 / (ASTM E447). Bogotá, 28 de 05 de 2003.

[8] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. prefabricados de concreto. Método de ensayo para determinar la resistencia a la tracción diagonal - cortante - en muretes de mampostería. *NTC 4925*. Bogotá, 21 de 03 de 2001.

[9] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Método de ensayo para la evaluación en el laboratorio y en obra, de morteros para unidades de mampostería simple y reforzada. Toma de muestras y ensayo del mortero de pega para mampostería. NTC 3546 /ASTM C780. Bogotá, 28 de 05 de 2003.

[10] BARROS MENDOZA. Hugues Leonardo, análisis del esfuerzo cortante en la mampostería por medio del ensayo de corte diagonal en muretes construidos con unidades H-10 y H-15, universidad pontificia bolivariana, Bucaramanga, (2010).

[11] D. E. B. Mancilla, factores de corrección de la resistencia en compresión de prismas de albañilería por efectos de esbeltez, pontificia universidad católica del Perú, Lima, 2006.

BIBLIOGRAFÍA

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Método de ensayo para la evaluación en el laboratorio y en obra, de morteros para unidades de mampostería simple y reforzada. Toma de muestras y ensayo del mortero de pega para mampostería. NTC 3546 /ASTM C780. Bogotá, 28 de 05 de 2003.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Especificaciones del mortero para unidades de mampostería. NTC 3329 /ASTM C270. Bogotá, 28 de 07 de 2004.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Método de ensayo para unidades de mampostería de arcilla cocida. NTC 4017 /ASTM C67. Bogotá, 30 de 11 de 2005.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. prefabricados de concreto. Método de ensayo para determinar la resistencia a la tracción diagonal - cortante - en muretes de mampostería. NTC 4925. Bogotá, 21 de 03 de 2001.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Resistencia a la compresión de prismas de mampostería. método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería. NTC 3495 / (ASTM E447). Bogotá, 28 de 05 de 2003.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL; AIS.
NSR-10. Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo resistentes. Bogotá,
2010.

ANEXOS

ANEXO 1 Dimensiones pilas

(cm)	PILA	L1	L2	L3	L4	B1	B2	B3	B4	H1	H2	H3	H4
H-10 mortero 1 : 3	1	30,0	30,0	30,2	30,0	10,2	10,3	9,9	10,2	41,6	41,6	41,6	41,5
	2	29,9	29,9	30,3	30,4	10,1	10,3	10,2	10,1	42,1	42,0	42,0	42,0
	3	30,0	30,0	30,2	30,2	10,3	10,2	10,5	10,1	41,6	41,6	41,5	41,4
	4	30,1	30,2	30,1	29,7	10,3	10,2	10,2	10,1	41,8	41,7	42,0	41,9
H-15 mortero 1 : 3	5	30,4	30,5	30,5	30,6	15,0	15,2	15,2	15,1	64,5	64,6	64,6	64,7
	6	30,9	30,0	29,9	29,9	15,2	15,0	15,4	15,3	64,4	64,3	64,0	64,0
	7	31,1	31,0	30,5	30,6	15,2	15,0	15,2	15,0	63,5	63,6	63,8	63,8
	8	30,2	30,1	31,0	31,0	15,3	15,3	15,3	15,3	65,8	65,8	65,5	65,8
tolete mortero 1 : 3	9	32,5	32,4	31,9	31,6	6,3	7,0	6,5	6,6	32,8	32,8	32,9	32,8
	10	31,9	32,2	31,7	31,8	6,6	6,6	6,6	6,5	32,5	32,6	32,6	32,5
	11	31,8	31,4	31,7	31,5	6,6	6,6	6,5	6,6	32,6	32,7	32,7	32,6
	12	32,2	32,0	31,8	32,0	6,5	6,9	6,6	6,5	33,1	33,0	32,9	33,1
H-10 mortero 1 : 5	13	31,0	30,8	30,6	30,6	10,3	10,2	10,4	10,2	41,4	41,5	41,5	41,4
	14	31,0	30,9	30,5	31,0	10,2	10,2	10,2	10,1	40,9	40,8	41,0	40,8
	15	32,0	31,8	30,5	31,1	10,2	10,2	10,2	10,2	41,0	41,0	41,3	41,2
	16	30,9	31,0	30,8	30,8	10,2	10,2	10,2	10,2	41,1	41,1	41,2	41,2
H-15 mortero 1 : 5	17	29,9	30,2	30,6	30,8	15,2	15,2	15,3	15,3	64,5	64,2	64,3	64,3
	18	30,3	30,8	30,5	30,1	15,0	15,0	15,2	15,2	64,0	64,0	63,8	63,7
	19	30,4	30,4	30,4	30,3	15,2	15,3	15,2	15,2	63,6	63,9	63,5	63,9
	20	30,7	30,8	30,3	30,5	15,1	14,9	15,3	15,3	63,8	63,5	63,9	63,8
tolete mortero 1 : 5	21	32,0	31,6	31,3	31,2	6,8	6,5	6,4	6,8	31,5	31,2	31,5	31,7
	22	32,0	32,3	31,5	32,0	6,6	6,6	6,5	6,5	32,5	32,7	32,8	32,7
	23	31,5	32,0	31,3	31,6	6,6	6,7	6,6	6,5	32,7	32,6	32,7	32,7
	24	32,3	32,0	32,0	31,8	6,5	6,5	6,6	6,9	33,1	32,9	33,1	33,0

ANEXO 2 Dimensiones muros

		cm	B1	B2	B3	B4	H1	H2	H3	H4	t1	t2	t3	t4	Diag 1	Diag 2
H-10 M 1:3	f	1	63	63,1	63	63,5	63	62,5	63	62,8	11,5	11	11,5	11	89	89
		2	63,3	63,4	62,5	62,5	62,5	62,4	63	63	11,5	11,5	11,5	11,5	88,7	88,7
		3	63	63,1	63,3	63,5	63,1	63	62,7	62,8	11,5	11	11,4	11	88,8	89
	sf	4	63,3	63,2	62,5	62,5	62,8	63	62,7	62,5	10	10	10	10	88	89
		5	62,7	62,6	63,5	63,2	62,2	62,2	62,1	62	10	10	10	10	88	87,8
		6	63,5	63,2	63,5	63,5	62,5	63	62,7	63	10	10	10	10	88,4	88,7
		7	63	62,8	63,3	63,3	63,5	63	63	62,5	10,1	10	10,2	10	88,4	88,7
H-15 M 1:3	f	8	62,8	63	62	62,1	63,5	63	63,7	63	16,6	16	16,8	16,1	88,8	88,5
		9	63,5	63,4	63,6	63,4	62	62	62,2	62,2	16,6	16,1	17	16,2	87,8	88,8
		10	63,3	63	63,3	63	63,3	63	62,5	62,7	16,7	16,2	16,3	16,5	89	89
	sf	11	62,7	63,1	63	62,7	62,9	63,1	63	63	15,3	15,4	15	15,2	88,7	89
		12	62,3	62,3	62,8	62,8	63	62,2	62,4	63	15,2	15,4	15	15,2	88	88,5
		13	63	63,4	63,4	63	62,8	62,7	63	62,9	15,3	15,3	15,3	15,3	88,8	88,5
		14	63	61,9	62,1	62,8	62,9	62,5	62,7	62,1	15,3	15,3	15,3	15,3	88,4	88,3
toilet M 1:3	sf	15	48,5	48,2	49	48,9	48,5	48,3	48,2	48,2	6,5	6,7	6,7	6,7	67,7	68
		16	49	48,7	48,8	48,6	48	47,8	48,5	48	6,5	6,5	6,4	6,2	68,5	68,5
		17	48,5	49,3	48,5	48,2	48,3	48,7	48	47,9	6,3	6,5	6,4	6,4	68,5	68,5
		18	49,2	49,3	47,5	48	47,7	48,5	49	49,2	6,3	6,5	6,4	6,4	67	68,2
	f	19	50	50	48,1	48,6	49,6	49,8	48	47	8,5	8,8	8,2	8,3	69	68,5
		20	50,5	50,2	48,8	48,3	48,6	48,9	49	49	9	8,4	9	8,5	68,3	68,5
		21	48,7	48,8	48,2	48,6	47,8	47,8	48,5	48,4	8,3	8,4	8,4	8,3	67,4	67,1
H-10 M 1:5	sf	22	63	63	63	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	10,2	10,2	10	10	88,1	88,4
		23	63,2	63,2	63,1	63,2	62,5	63	62,5	62,6	10	10	10,4	10	88,2	88,7
		24	63,2	63,2	63	63	62,2	62	62	62	10,1	10	10,1	10	87,8	88,5
H-15 M 1:5	sf	25	63	63,6	63,3	63,2	63	63,2	63	62,8	15,2	15,2	15,2	15,2	89,1	89
		26	61,8	62	61,9	61,9	63,5	63,4	63,4	63,5	15,3	15,3	15,2	15,2	88,1	88,5
		27	62	62	61,8	62,7	63,2	63,5	63,5	63,3	15,3	15,4	15,2	15	88,5	88,2
toilet M 1:5	sf	28	49,4	49	49	48,7	49	48,7	48,7	49,1	6,7	6,5	6,4	6,4	69	68,5
		29	48,6	48,6	48,6	49	49	49,2	49	48,7	6,5	6,3	6,4	6,7	67,8	68,3
		30	47,5	48,0	48,3	48,8	49,6	49,3	49,5	49,4	6,7	6,6	6,4	6,5	67,7	69

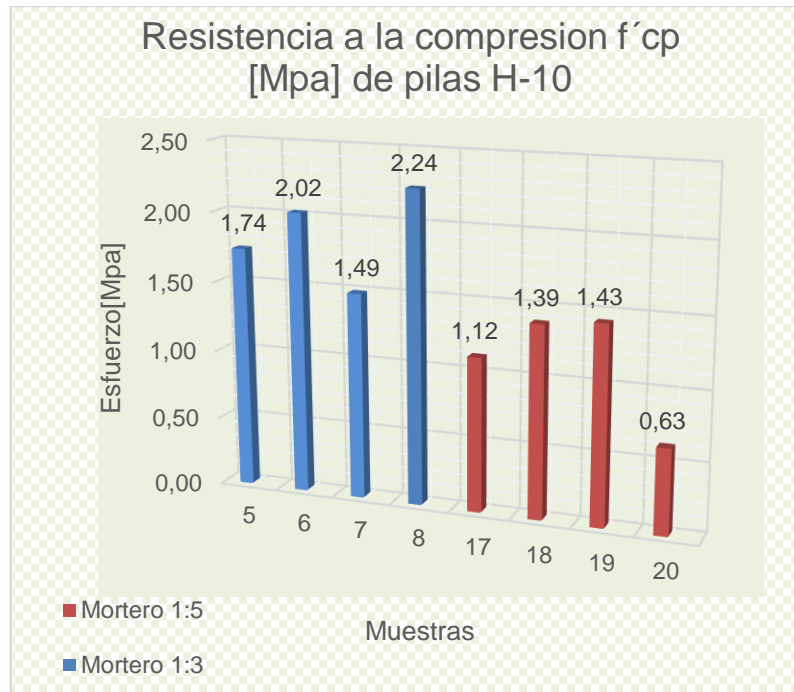
ANEXO 3 Tablas de esfuerzo y módulo de elasticidad de cada una de las pilas

H-10						
	N°.	carga [KN]	altura [mm]	Área [mm ²]	Esfuerzo[Mpa]	Em [MPa]
M-1:3	1	53,6	415,8	30777,3	1,74	360
	2	62,8	420,3	31059,0	2,02	298
	3	46,5	415,3	31205,3	1,49	385
	4	69,0	418,5	30778,5	2,24	416
M-1:5	13	34,9	414,5	31211,3	1,12	299
	14	43,6	408,8	31389,9	1,39	244
	15	45,9	411,3	31977,0	1,43	276
	16	19,7	411,5	31492,5	0,63	236

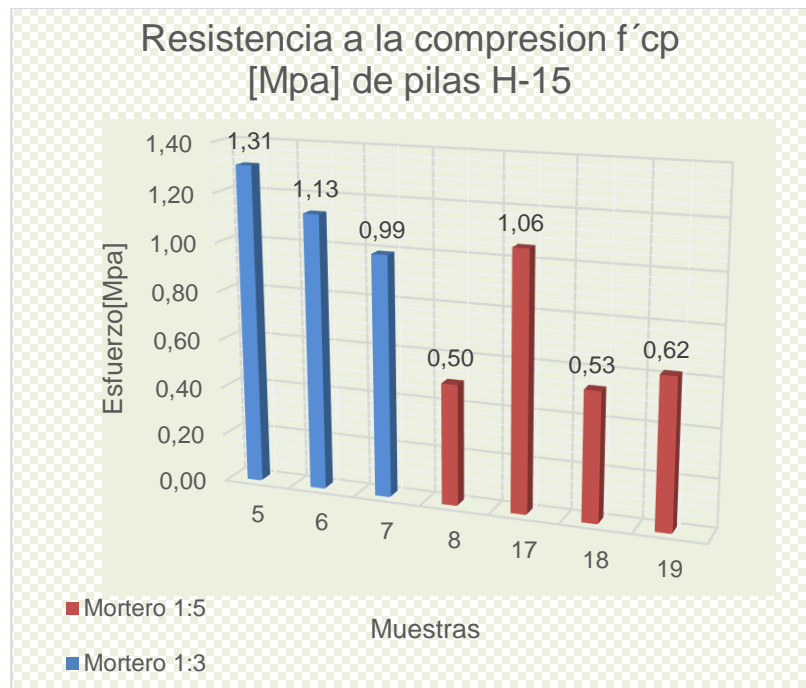
H-15						
	N°.	Carga [KN]	Altura [mm]	Area [mm ²]	Esfuerzo [Mpa]	Em [MPa]
M-1:3	5	60,45	646	46208	1,31	376
	6	51,90	642,8	45826,3	1,13	320
	7	-----	-----	-----	-----	-----
	8	45,09	657,3	45451	0,99	283
M-1:5	17	22,55	639	45074,8	0,50	235
	18	49,52	640	46779,7	1,06	207
	19	24,58	637,3	45979,5	0,53	166
	20	28,47	637,5	45790,9	0,62	207

Tolete						
	N°.	Carga [KN]	Altura [mm]	Area [mm ²]	Esfuerzo [Mpa]	Em [MPa]
M-1:3	9	77,0	328,3	20740,5	3,71	439
	10	100,6	325,5	20974,3	4,80	545
	11	83,6	330,3	21216,6	3,94	476
	12	131,3	330,3	21266,3	6,17	493
M-1:5	21	85,4	314,8	20885,3	4,09	333
	22	81,5	326,8	20927,3	3,89	359
	23	85,7	326,8	20856,0	4,11	264
	24	79,3	326,5	20777,0	3,82	420

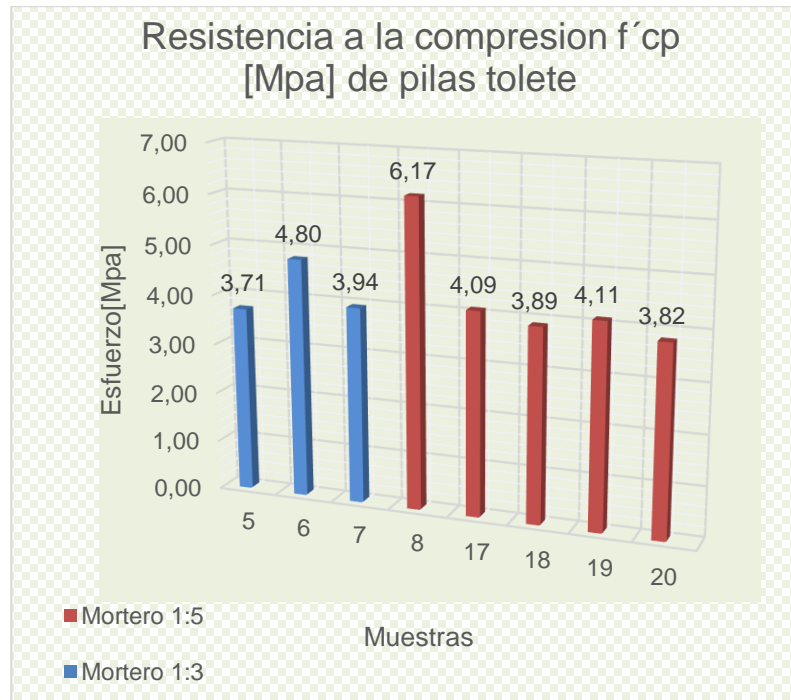
ANEXO 4 Grafica de resistencia a la compresión f'_{cp} [Mpa] de pilas H-10



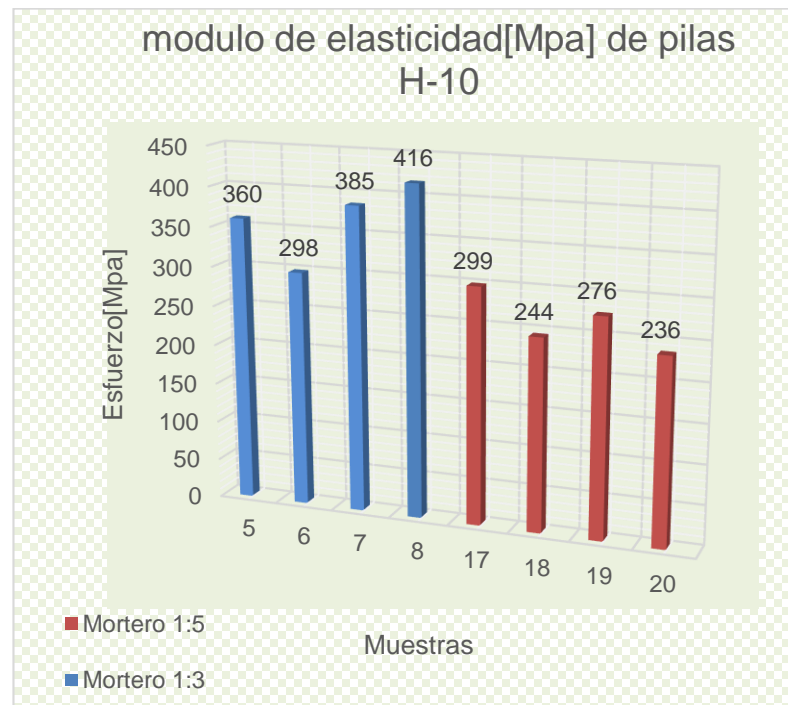
ANEXO 5 Grafica de resistencia a la compresión f'_{cp} [Mpa] de pilas H-15



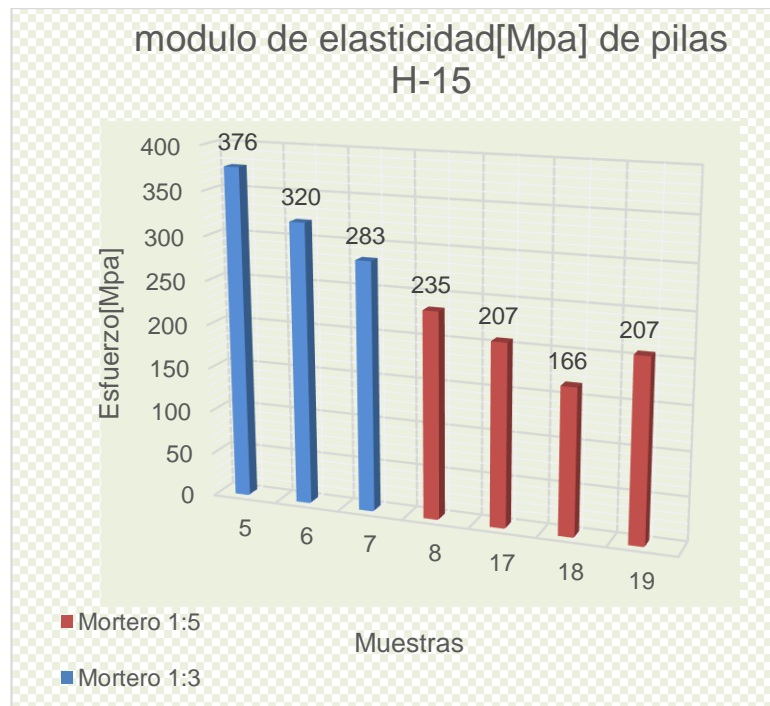
ANEXO 6 Grafica de resistencia a la compresión f'_{cp} [Mpa] de pilas tolete



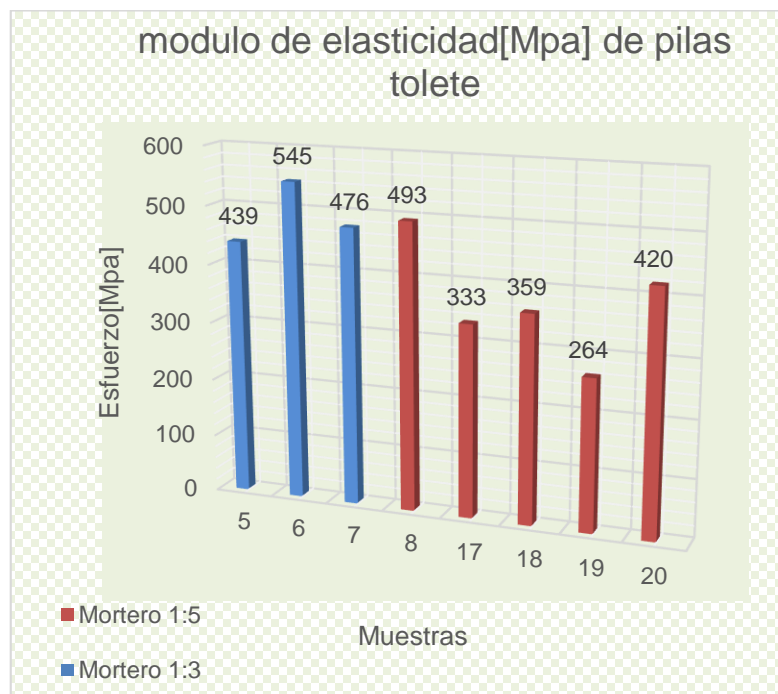
ANEXO 7 Grafica de Módulo de elasticidad [Mpa] de pilas H-10



ANEXO 8 Grafica de Módulo de elasticidad [Mpa] de pilas H-15



ANEXO 9 Grafica de Módulo de elasticidad [Mpa] de pilas tolete



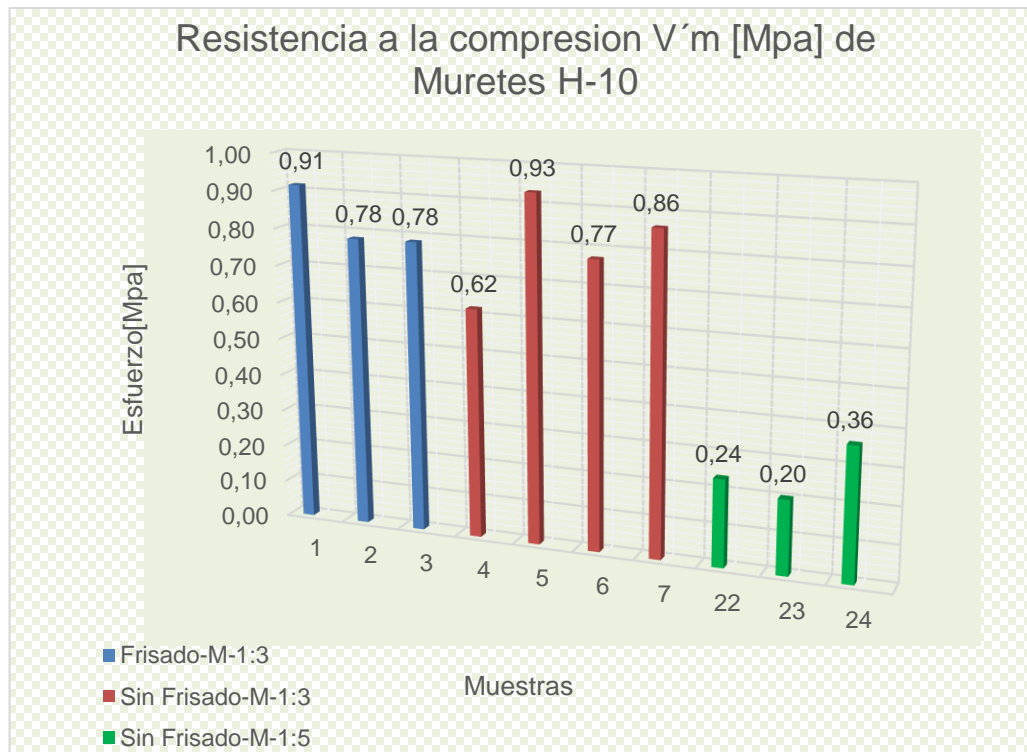
ANEXO 10 Tablas de esfuerzo y módulo de corte de cada una de los muretes

	Tipo	Muestra	bprom [mm]	Hprom: [mm]	t prom: [mm]	Area [mm ²]	Carga [KN]	Esfuerzo cortante SS [Mpa]	Gm [MPa]
H-10	Frisado-M-1:3	1	630	627	113	70720	91,52	0,91	162
		2	627	628	113	70908	78,42	0,78	130
		3	631	629	112	70689	78,45	0,78	136
	Sin Frisado-M-1:3	4	630	624	100	62688	55,00	0,62	115
		5	632	622	101	62963	83,04	0,93	136
		6	634	631	100	63275	69,30	0,77	133
		7	634	632	101	63775	77,89	0,86	139
	Sin Frisado-M-1:5	22	632	625	102	63937	21,41	0,24	73
		23	628	621	100	62556	17,94	0,20	71
		24	632	627	102	63844	32,65	0,36	91

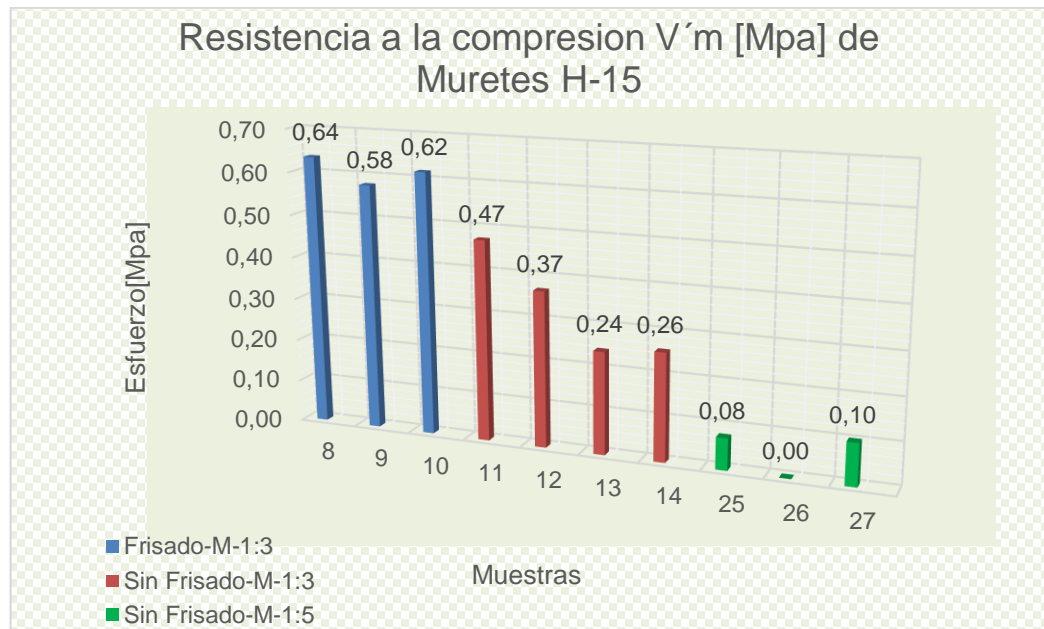
	Tipo	Muestra	Bprom [mm]	Hprom: [mm]	t prom : [mm]	Area [mm ²]	Carga [KN]	Esfuerzo cortante SS [Mpa]	Gm [MPa]
H-15	Frisado-M-1:3	8	627	632,8	161,3	101567,3	91,23	0,64	111
		9	634,8	621,0	163,5	102657,6	83,96	0,58	84
		10	631,5	628,8	163,0	102710,4	89,57	0,62	121
	Sin Frisado-M-1:3	11	629,8	630,5	153,3	96566,7	64,51	0,47	51
		12	633	630,3	153,0	96638,6	50,30	0,37	65
		13	624	629,3	151,0	94620,4	32,54	0,24	45
		14	624,5	625,5	153,0	95625,0	34,68	0,26	50
	Sin Frisado-M-1:5	25	632,8	630,0	152,0	95969,0	10,30	0,08	53
		26	619	634,5	152,5	95579,4	----	-----	----
		27	621,3	633,8	152,3	95536,9	13,67	0,10	40

	Tipo	Muestra	bprom [mm]	Hprom : [mm]	t prom : [mm]	Area [mm ²]	Carga [KN]	Esfuerzo cortante SS [Mpa]	Gm [MPa]
Tolete	Frisado -M-1:3	19	492	486	85	41310	111,12	1,90	287
		20	495	489	87	42943	105,52	1,74	246
		21	486	481	84	40372	119,10	2,09	318
	Sin Frisado -M-1:3	15	487	483	67	32236	48,41	1,06	195
		16	486	480	64	30896	40,69	0,93	204
		17	487	486	67	32587	92,76	2,01	267
		18	485	486	64	31072	54,96	1,25	188
	Sin Frisado -M-1:5	28	490	489	65	31818	83,27	1,85	98
		29	487	490	65	31622	60,87	1,36	68
		30	482	495	66	31964	73,29	1,62	116

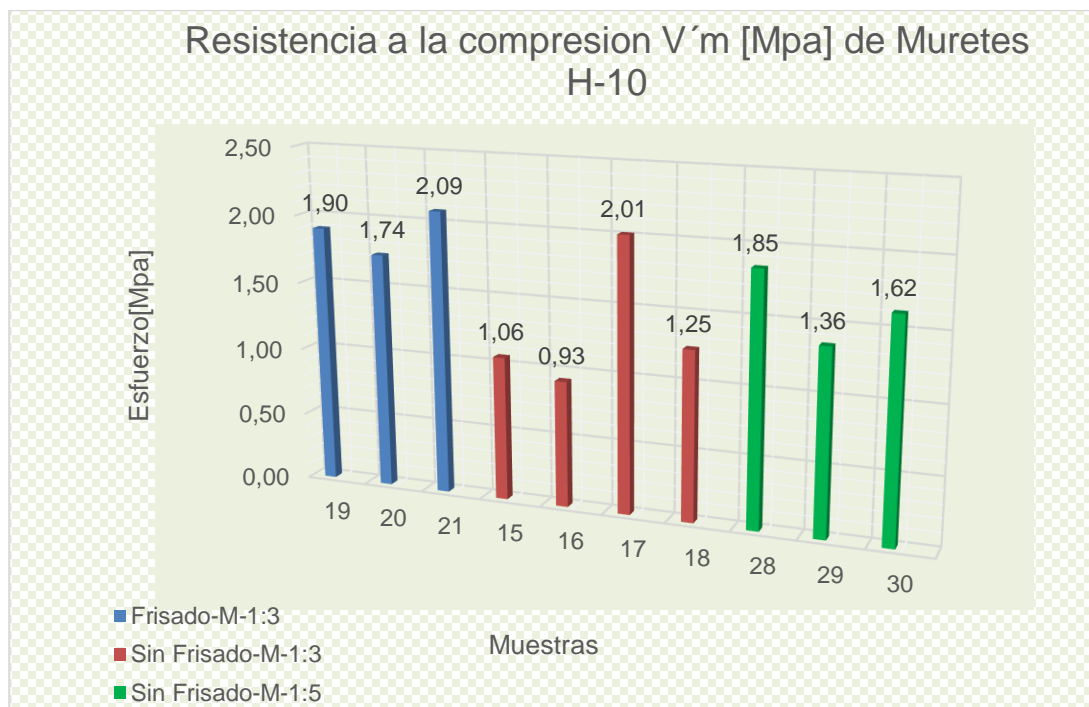
ANEXO 11 Grafica de resistencia a la compresión V'm [Mpa] de muretes H-10



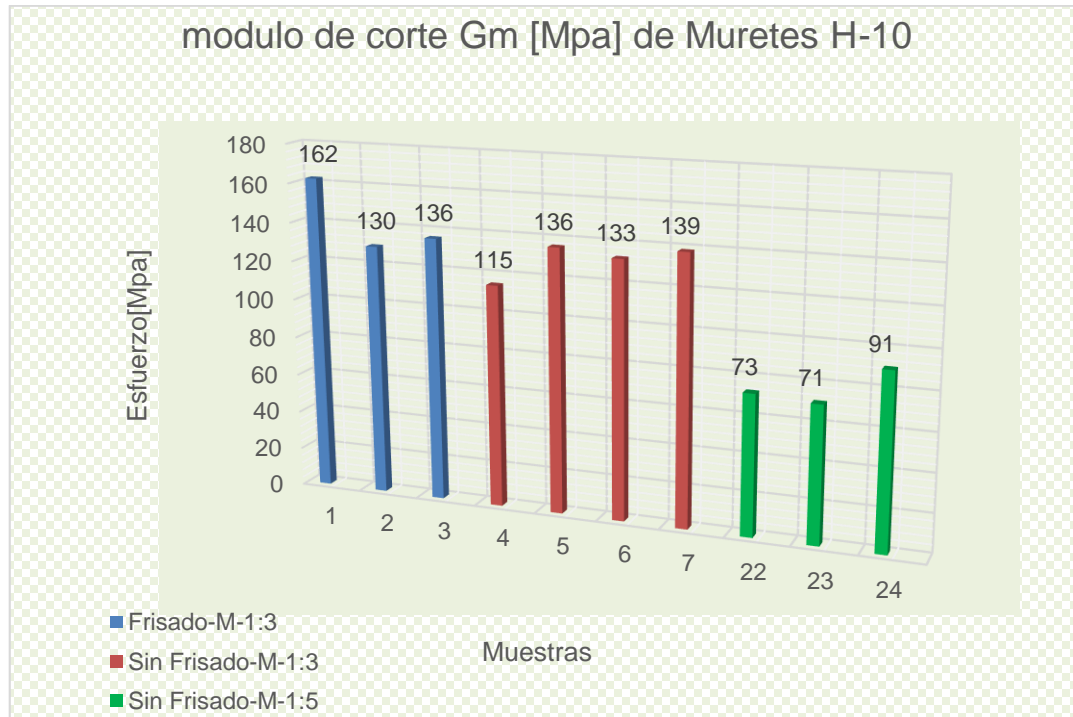
ANEXO 12 Grafica de resistencia a la compresión V'm [Mpa] de muretes H-15



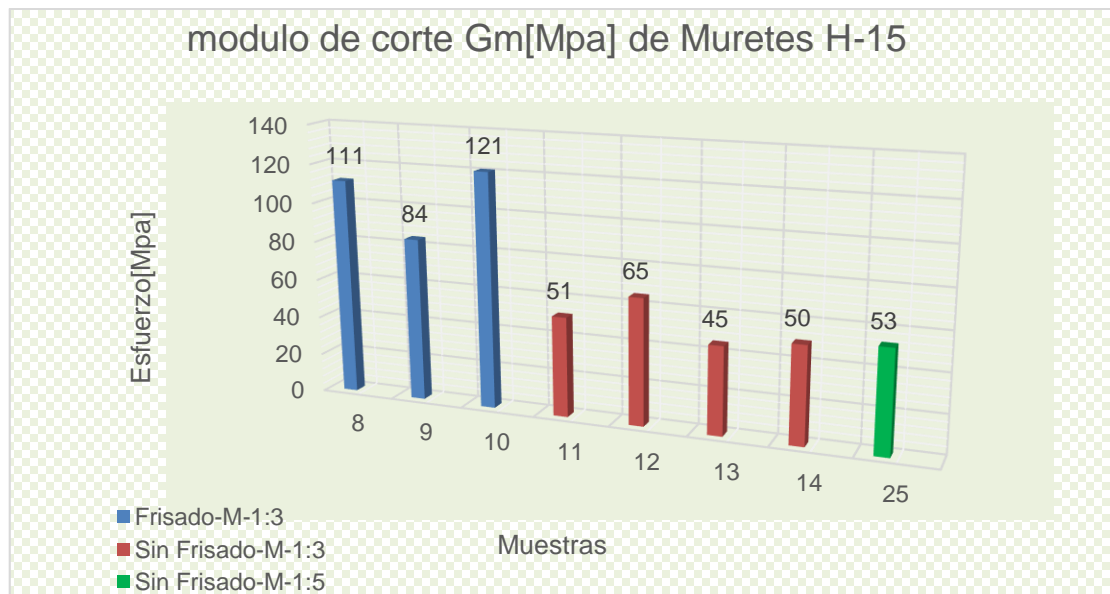
ANEXO 13 Grafica de resistencia a la compresión V'm [Mpa] de muretes tolete



ANEXO 14 Grafica de módulo de corte G_m [Mpa] de muretes H-10



ANEXO 15 Grafica de módulo de corte G_m [Mpa] de muretes H-15



ANEXO 16 Grafica de módulo de corte Gm [Mpa] de muretes tolete

