



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación Estudios de Posgrado

**Comportamiento estructural de mampostería
combinada de block y tabique**

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA

Con opción terminal en estructuras

Presenta:

Ing. Cruz Eduardo Cantor Coyotl

Asesor de tesis:

PhD. Juan Pablo Hidalgo Toxqui

Co-Asesor de tesis:

M. I. Silvia Contreras Bonilla

Puebla, Pue.

Diciembre 2024



Oficio No. SIEP/2000/2024

C. Cruz Eduardo Cantor Coyotl

Matrícula 223470002

Alumno de la Maestría en Ingeniería

con opción terminal en Estructuras, 11ª. gen.

Facultad de Ingeniería, BUAP.

Presente

Por medio del presente, el suscrito M.I. Angel Cecilio Guerrero Zamora, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a su solicitud de aprobación de Tema de Tesis, le autoriza desarrollar el tema titulado: **Comportamiento estructural de mampostería combinada de block y tabique**. Para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con opción terminal en Estructuras. Asignándose como Director de tesis al PhD. Juan Pablo Hidalgo Toxqui y Codirector M.I. Silvia Contreras Bonilla.

Sin otro particular de momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Zaragoza, a 11 de noviembre de 2024.

M.I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director



C.c.p. PhD. Juan Pablo Hidalgo Toxqui y M.I. Silvia Contreras Bonilla, Director y Codirector del tema de tesis.

C.c.p. Archivo

JPHT/sco*

Facultad
de Ingeniería

Bld. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING - 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
Tel. (222) 229 55 00 Ext. 7610



BUAP

Oficio No. SIEP/094/2025

Asunto: Carta de autorización de impresión de Trabajo de Tesis.

Mtro. Alfredo Avendaño Arenaza
Director General de Bibliotecas
Presente

Por este medio me permito saludarle y, al mismo tiempo, me dirijo a usted para informarle que la tesis con título "Comportamiento estructural de mampostería combinada de block y tabique", ha sido avalada bajo los preceptos de integridad académica; por tanto, se autoriza la impresión de tesis del alumno:

Nombre del alumno: Cruz Eduardo Cantor Coyotl
Matrícula: 223470002
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería con Opción Terminal en Estructuras

Sin más por el momento, agradezco la atención al presente.

Atentamente
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Z., a 12 de mayo de 2025

Mtro. José María Álvarez Alarcón
Secretario de Investigación y Estudios



Dr. Juan Pablo Hidalgo Toxqui
Director del Trabajo de Tesis

Facultad
de Ingeniería

Bvd. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING - 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

A mis padres, hermanas y amigos por su constante apoyo y motivación, sin ustedes esto no sería posible.

Agradecimientos

La presente investigación fue realizada gracias al apoyo por parte de CONAHCYT quien me otorgo la beca para poder llevar a cabo los estudios de maestría, así como la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (FI – BUAP) en donde se realizaron los experimentos.

En primer lugar, quiero agradecer al PhD. Juan Pablo Hidalgo Toxqui por el apoyo que me brindo, la confianza y motivación para poder continuar con los estudios de posgrado y sobre todo por la paciencia que me tuvo.

También quiero agrade a la M en I. Silvia Contreras Bonilla por sus revisiones y comentarios al documento.

En la parte experimental no hubiera sido posible sin la ayuda de los prestadores de servicio social y prácticas profesionales del laboratorio de estructuras los cuales ayudaron a la elaboración y ensaye de las probetas y sin los cuales no hubiera sido posible realizar esto: Adrián Alonso, Bryanlao Pinto, Gustavo Portilla, Oscar limón, Marco Urrieta, Marco Sánchez, Marcos Coraza, Diana Magaña, Ángel Marín, Jackeline Ángel, Axel Castillo y Yahir Hernández.

Tabla de contenido

Resumen.....	V
Introducción	VI
CAPÍTULO I ANTECEDENTES.....	1
I.1.- Mampostería en México	3
II.1.1.- Mampostería no reforzada o simple.....	4
II.1.2.- Mampostería reforzada interiormente.....	5
II.1.3.- Mampostería confinada	6
I.2.- Mampostería confinada y combinada o mixta.....	7
I.3.- Normativa	10
I.4.- Investigaciones previas	11
CAPITULO II.- MATERIALES QUE COMPONEN LOS MURETES DE MAMPOSTERÍA COMBINADA	14
II.1.- Piezas.....	14
II.1.1- Tabique rojo recocado	14
II.1.2.- Block vibro compactado.....	16
II.1.3- Resistencia a compresión.....	18
II.2- Mortero.....	24
CAPITULO III.- ENSAYE DE MURETES A COMPRESIÓN DIAGONAL	29
III.1.- Características de los muretes de acuerdo con su aparejo	31
III.2.- Resistencia a compresión diagonal y tipo de falla	32
III.2.1.- Aparejo 1	35
III.2.2.- Aparejo 2	38
III.2.3.- Aparejo 3	40
III.2.4.- Aparejo 4	43
III.2.5.- Aparejo 5	45
III.2.6.- Aparejo 6	48
III.2.7.- Aparejo 7	51
III.2.8.- Aparejo 8	54
CAPITULO IV.- ENSAYE DE PILAS A COMPRESIÓN	57
IV.1.- Características de las pilas	58
IV.2.- Resistencia a compresión y tipo de falla.....	59
IV.2.1.- Aparejo 1.....	61
IV.2.2.- Aparejo 2.....	65

IV.2.3.- Aparejo 3.....	68
IV.2.4.- Aparejo 4.....	71
CAPITULO V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYES	75
V.1.- Muretes.....	75
V.1.1.- Resistencia a compresión diagonal.....	75
V.1.2.- Módulo de cortante	82
V.1.3.- Deformación	84
V.1.4.- Esfuerzo cortante- Aparejo.....	87
V.2.- Pilas.....	91
V.2.1.- Resistencia a compresión	91
V.2.2.- Módulo de elasticidad	95
V.2.3.- Deformación	96
Conclusiones	102
Bibliografía	104
Anexos.....	105

Resumen

El objetivo de la presente investigación es analizar el comportamiento estructural de la mampostería combinada de block y tabique, esto debido a la gran cantidad de estructuras construidas con este tipo de mampostería.

La investigación se llevó a cabo por medio de pruebas de laboratorio, se ensayaron piezas de block y tabique, morteros, muretes y pilas de mampostería, en base a lo señalado por la normativa correspondiente. Para los muretes se presentaron 8 aparejos en base a la densidad de block y tabique, pasando de muretes de 100% block a 100% tabique, para el caso de las pilas se presentaron 4 aparejos siguiendo el mismo concepto de los muretes. Se ensayaron un total de 5 piezas de block, 5 piezas de tabique, 24 muretes y 12 pilas

Los principales valores que se obtuvieron fue la resistencia a compresión de las piezas, resistencia a compresión del mortero, resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de los muretes y resistencia a compresión y módulo de elasticidad de las pilas. Así como también gráficas donde se presenta la relación Carga – Desplazamiento y Esfuerzo – Deformación de cada uno de los ensayos de muretes y pilas. Por último, una gráfica donde se relaciona el esfuerzo (compresión o cortante) respecto al aparejo correspondiente.

Introducción

Desde las primeras poblaciones de la historia hasta la actualidad, la mampostería es de las principales formas de construir, utilizando rocas naturales, rocas labradas y posteriormente creando piezas artificiales que satisfagan las necesidades de una vivienda que brinde protección.

La mampostería es por defecto el sistema constructivo más utilizado en México, siendo el 91.5 % de las viviendas particulares habitadas construidas con muros resistentes de materiales como tabique, ladrillo, block, cantera o cemento.

Los sistemas de mampostería utilizados en México son la mampostería no reforzada, mampostería reforzada interiormente y la mampostería confinada, siendo esta última la más utilizada.

Con el paso del tiempo y ante la necesidad de mejorar o crear nuevos sistemas de construcción que permitan reducir costos y tiempos, así como aumentar la seguridad de las viviendas, por este motivo uno de estos sistemas es combinar dos tipos de piezas, block y tabique, y confinando por medio de castillos, es decir mampostería combinada y confinada.

Este sistema de mampostería combinada y confinada ha ido en aumento en estados como Tlaxcala, Puebla, Estado de México, Oaxaca y Ciudad de México, por lo que es importante la investigación de este sistema ya que estos estados se encuentran dentro de una zona altamente sísmica.

En el presente trabajo realizado consistió en el ensaye de muretes y pilas con diferentes aparejos de mampostería combinada, modificando el porcentaje de block y tabique en la fabricación de las probetas, pasando de elementos contruidos con 100% de block y 0% de tabique a 0% de block y 100% de tabique. Se ensayaron un total de 24 muretes y 12 pilas, que se elaboraron en el Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Además, también se llevaron a cabo el ensaye de las piezas que se utilizaron para la elaboración de las probetas, obteniendo las medidas de fabricación, peso volumétrico y la

resistencia a compresión tanto promedio como de diseño, así como también se ensayaron los morteros que se emplearon, obteniendo el peso volumétrico y resistencia a compresión.

El objetivo final de la investigación es obtener el comportamiento de mampostería combinada con diferentes aparejos y realizar una comparativa entre ellos, para poder saber cuál tiene mejor comportamiento estructural y que tan recomendable es utilizar este sistema de mampostería combinada.

CAPÍTULO I ANTECEDENTES

El uso de las construcciones a base de mampostería data de los inicios de la humanidad, esto bajo la necesidad de tener un lugar en donde protegerse ante las fuerzas de la naturaleza. Es sin duda el sistema de construcción más antiguo que se conoce.



Figura 1 Ruinas de Babilonia en 1932 (Fuente: Archivo: Babylon, 1932)

Para poder saber que es la mampostería debemos de conocer de donde se deriva, surge a partir de lo que se conoce como mampuesto que significa piedra sin labrar que se puede colocar con la mano, esto debido a que desde la antigüedad se ha apilado rocas una sobre otra de tal forma que vayan embonando, ya sea con algún tipo de cementante o no; con el paso del tiempo. Se comenzó con el labrado de rocas de manera que fuera más fácil su colocación, pero siguiendo la misma idea del mampuesto, solo que ahora en vez de colocar rocas sin labrar se colocan aquellas piezas que han sido labradas. Esto lo podemos observar en las grandes estructuras construidas en la antigüedad, como se puede observar en la Figura 2, donde se observa el uso de rocas para muros, pirámides, y casas e incluso para sus caminos.



a) Piramide del Sol, Teotihuacán, México



b) Coliseo Romano, Italia



c) Acueducto de Segovia, España

Figura 2 Construcciones antiguas de mampostería (Fuente: Pagina web_Curioso Sfera Historia, 2016)

El avance de la humanidad y ante la necesidad de seguir mejorando las técnicas de construcción se han podido crear piezas artificiales para sustituir las naturales, habiendo ahora una variedad de piezas, siendo los más conocidos el ladrillo o tabique rojo recocido, ya sea artesanal o industrializado, blocks de concreto, vibro compactados o ligeros entre otros; así como la mejora continua del material cementante que unen las piezas. Por lo general, la mampostería consiste en la colocación de ladrillos, piedras, blocks, entre otros, una sobre otra, unidas por un cementante para construir un muro, ya sea este de carga, divisorio o barda, como se observa en la Figura 3.



Figura 3 Construcción de muro de mampostería (Fuente: Pagina web_Grupo Casalina, 2022)

Uno de los edificios de mampostería más simbólicos en el mundo el edificio Monadnock construido en el año 1891 (Figura 4), en donde se emplearon criterios de diseño más avanzados para su época, considerando las fuerzas horizontales dando como resultado muros de 1.80 m de espesor, los cuales ocupan el 25% del área total. Se observó que el problema no era el material sino la falta de conocimiento ingenieril del mismo, por lo cual, en los últimos 70 años, en varias partes del mundo, incluyendo México se han realizado diversas investigaciones analíticas y experimentales, para el diseño y construcción de la mampostería, llegando a ser denominada mampostería estructural.



Figura 4 Edificio Monadnock, Chicago, Illinois (Fuente: Archivo: Monadnock)

I.1.- Mampostería en México

El conocer el uso de la mampostería en México es muy importante por ser el sistema constructivo más utilizado en las viviendas, desde mampostería confinada, reforzada interiormente, no reforzada y elaborada con ladrillos, block de concreto y ligeros, adobe y rocas naturales, teniendo presente siempre el comportamiento de está.

La mampostería es uno de los sistemas constructivos más utilizado en el país, así lo demuestran los datos del (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2023), donde menciona que el 91.5 % de las viviendas particulares habitadas tienen muros resistentes de materiales como tabique, ladrillo, block, cantera o cemento y 78.6% tienen techos sólidos de losa o concreto de viguetas con bovedillas. El uso de la mampostería este arraigado principalmente a la cultura que se tiene, percepción de la seguridad, accesibilidad a los materiales, mano de obra y fácil construcción.

En México inicia la investigación a la mampostería después del sismo de 1957 mostrando daños y comportamientos representativos en los elementos estructurales formados por estos materiales. La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por medio de la Facultad de Ingeniería y el Instituto de Ingeniería son los pioneros en realizar investigación en el tema de la mampostería, realizando ensayos a diferentes probetas construidas con variedad de piezas, morteros y escalas, con la finalidad de obtener propiedades mecánicas

representativas y analizar su comportamiento para proponer y participar en la normalización del diseño estructural y ,mejoras en los procesos constructivos de la mampostería.

En las escuelas de ingeniería civil de las universidades se analizan o estudian estructuras de concreto, acero, madera y estructuras de mampostería, y se considera más importantes a las dos primeras. Sin embargo, esta última es la más frecuente en el campo laboral del ingeniero civil (Juárez Ángeles, 2008).

Si bien existen normativas para la construcción de mampostería, no quiere decir que se respeten los lineamientos establecidos en estas, uno de los principales problemas que existen es la autoconstrucción, donde las personas construyen de acuerdo con su experiencia y siguiendo tradiciones en el uso de la mampostería, utilizando diferentes tipos de piezas y haciendo combinaciones para construir elementos estructurales.

Actualmente existen diferentes procesos en los que se utiliza la mampostería y cada uno tiene su sistema y usos de acuerdo con las necesidades que se requieren, las mamposterías más conocidas utilizadas son:

- Mampostería no reforzada o simple
- Mampostería reforzada interiormente
- Mampostería confinada

En ciertos casos se llega a realizar una combinación de estos sistemas, pero de acuerdo con las recomendaciones de los procesos constructivos es ideal utilizar un solo tipo de sistema para realizar la construcción necesaria. Por lo que, necesario abordar cada uno de los tipos de mampostería para explicar en qué consiste cada uno.

II.1.1.- Mampostería no reforzada o simple

Este tipo de mampostería se ha conocido desde la antigüedad, cuando los hombres comenzaron a colocar rocas naturales una sobre otra para crear así las primeras construcciones, con el paso de los años estas técnicas se fueron modificando poco a poco, comenzado a labrar las rocas y ocupar cementantes para unir las piezas.

La mampostería no reforzada es aquella que no cuenta con algún tipo de refuerzo interior o perimetralmente, a refuerzo se refiere a acero tipo varillas, y solo está construida con piezas macizas o huecas, ya sean naturales o artificiales. Construcciones con este tipo de sistema

son algunas haciendas, casonas antiguas, pirámides entre otros. Si bien a pesar de los avances en las tecnologías y procesos constructivos, existen zonas en donde se sigue utilizando este tipo de sistema, esto se debe principalmente a falta de recursos y/o de conocimiento. Sin embargo, en algunos casos es necesario conservar estructuras antiguas construidas con este sistema, debido a que pertenecen al Patrimonio Cultural de la Humanidad, por ende, es importante conocer el comportamiento de los materiales con los que fue construido y el tipo de proceso que se realizó. Sí se requiere realizar una estructura nueva a base de mampostería simple se deben de trabajar con las recomendaciones que marcan las normativas actuales para el lugar en el que se planea llevar a cabo la construcción. En la Figura 5 se puede observar ejemplos de mampostería simple.



a) Ex-hacienda, mampostería simple



b) Casa, mampostería simple

Figura 5 Construcciones de mampostería simple (Fuente: Pagina web El maestro de casas, 2011)

II.1.2.- Mampostería reforzada interiormente

Es un sistema constructivo el cual se basa en muros de carga o divisorios construidos con piezas huecas o que tengan alveolos, esto permite que se pueda introducir acero de refuerzo para posteriormente rellenar con concreto o mortero de relleno. El refuerzo no solo puede ser vertical también se puede colocar horizontalmente de ser necesario, el acero de refuerzo que se puede utilizar es acero de alta resistencia (diámetros pequeños) y acero grado 42, se deben de considerar la normativa del lugar donde se llevara a cabo la construcción de este tipo de estructura. Actualmente, ya existen gran variedad de piezas que se pueden utilizar para la construcción de este tipo de sistema, así como empresas que no solo vende las piezas, sino que también su propio proceso de colocación para que las piezas y en general el sistema tengan un buen comportamiento ante las demandas que se le vayan a exigir. Las construcciones más comunes donde se puede ver este sistema en casa habitación, muros divisorios de edificios y zonas habitacionales.



a) Infonavit San Bartolo, Puebla, Puebla



b) Construcción de casa habitación

Figura 6 Construcciones de mampostería reforzada interiormente (Fuente: Pagina web_arqhys, 2010)

II.1.3.- Mampostería confinada

La mampostería confinada es un sistema donde se basa en la construcción de muros de carga o divisorios hechos con piezas huecas o macizas, estos muros están confinados en su perímetro por elementos de concreto reforzado, denominados castillos y dalas, para los elementos verticales y horizontales respectivamente. Así mismo, se deben de considerar la normativa o reglamento del lugar en donde se llevará a cabo la construcción. Este tipo de sistema es el más utilizado para la vivienda en gran parte de la República Mexicana, esto se debe principalmente al fácil acceso a los materiales para su construcción. Una gran deficiencia que existe en este tipo de sistema es la autoconstrucción, uno de los principales problemas es que muchas veces o en la mayoría de los casos no existe un buen confinamiento de los muros, principalmente en los vanos de las ventanas y puertas, o en salientes de muros pequeños, por cual, en estos casos se espera que la construcción no tenga un buen comportamiento ante alguna demanda sísmica, provocando grandes daños e incluso sufrir un colapso.



a) Nave con muros de mampostería



b) Casa habitación

Figura 7 Construcciones de mampostería confinada (Autoría propia, 2024)

I.2.- Mampostería confinada y combinada o mixta

En las zonas urbanas y conurbanas de México, ante la gran demanda de viviendas se ve la necesidad de recurrir a nuevas formas de implementar la mampostería, modificando ciertos aspectos en el sistema, esto para poder ahorrar tiempos de ejecución y costos de materiales. Una de estas modificaciones que se implementaron en el sistema de mampostería confinada consiste en utilizar tabique rojo y block vibro compactado, haciendo una combinación de ambos, alterando hileras de block y tabique (Figura 7), a lo cual se le denomina mampostería combinada o mixta.



Figura 8 Uso de mampostería combinada (Autoría propia, 2024)

Al implementar la mampostería combinada y confinada, se tiene ciertas ventajas en comparación con la hecha con una sola pieza, se tiene un rendimiento más alto al momento de ejecutar la construcción de los elementos, así como también tiene cierta estética, lo cual permite dejar el acabado aparente y no recurrir a un repellado u otro tipo de acabado.

No se tiene un dato en específico de cuando se comenzó a utilizar por primera vez este tipo de sistemas, ni el lugar donde surgió, pero se puede inferir que tiene un origen en la época colonial donde se combinaban rocas naturales con artificiales, sin embargo, el uso de esta data desde los años 80's. En la actualidad en las zonas urbanas y conurbanas de los estados de Puebla, Tlaxcala es donde se llega a observar más este tipo de sistema. A partir de esto se ha estado extendiendo el uso de este tipo de mampostería a otros estados como Oaxaca, Estado de México y Ciudad de México. En la Figura 9 se observa un mapa de la Republica donde se utiliza la mampostería mixta y en la Figura 10 el uso de mampostería por estado y como puede variar el aparejo que se utiliza.



Figura 9 Mapa de la República Mexicana donde se marca los estados que utilizan mampostería mixta (Autoría propia, 2024)



a) Xochimilco, Ciudad de México



b) Santa Isabel Cholula, Puebla



c) San Pablo del Monte, Tlaxcala



d) Oaxaca de Juárez, Oaxaca



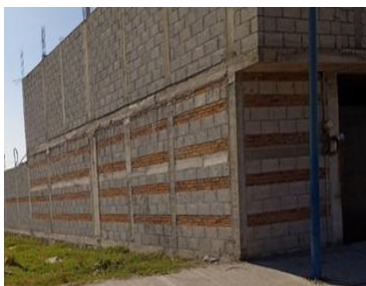
e) Santa María Tulantongo, Estado de México

Figura 10 Mampostería mixta en diferentes estados (Autoría propia, 2024)

Existen numerosas combinaciones de aparejos que se pueden observar en este tipo de construcciones, según la necesidad y el gusto, el aparejo más utilizado y común es aquel donde se observan tres hiladas de tabique por una hilada de block (Figura 11 a), esto se debe principalmente a que las hiladas de tabique corresponden en altura a la hilada de block, lo que se puede tener un mejor control en la eficiencia al momento de construir.



a) Aparejo una hilada de block por tres hiladas de tabique



b) Aparejo dos hiladas de block por tres hiladas de tabique



c) Aparejo primer nivel una hilada de block por tres hiladas de tabique, segundo nivel



d) Aparejo una hilada de block por dos hiladas de tabique



e) Aparejo con tres hiladas de tabique en el centro y diez de block.



f) Aparejo con tres hiladas de tabique a cada tercio del muro.



g) Aparejo tres hiladas de tabique por una de block donde cambia el aparejo a hiladas de block.



h) Aparejo hilas de block con hiladas de tabique para despues continuar con block.



i) Aparejo de tres hiladas de block colocadas al hilo e hiladas de tabique colocadas de diferentes posiciones.



h) Aparejo las hiladas de tabique aumentan conforme a la altura, pero se mantiene una



j) Aparejo tres hiladas de tabique una en medio y al final del muro



k) Aparejo dos hiladas de tabique por dos de block

Figura 11 Diferentes tipos de aparejos que se llegan a utilizar (Autoría propia, 2024)

En la Figura 11 se aprecia que existen una gran variedad de combinaciones que se pueden utilizar en la construcción de la mampostería, pues se usan por gustos e incluso por estética

ya que no es necesario algún tipo de acabado, sin embargo, cada constructor puede utilizar el aparejo que mejor le convenga, de ahí la importancia de saber cómo estos cambios de aparejos pueden afectar la resistencia y el comportamiento de este.

Así como la mampostería confinada o reforzada interiormente no solo se ocupa para viviendas, lo mismo sucede para la mampostería combinada, se puede encontrar en naves industriales, bodegas, bardas, edificios y casas habitación.

En la presente investigación se pretende realizar ensayos a piezas, pilas y muretes, que componen la mampostería combinada, para poder obtener el comportamiento tanto como piezas como elemento. Una de las principales cuestiones que se describen es la variación de aparejos esto se ligó directamente con las densidades de materiales que componen un muro, lo que dio la idea construir elementos que contengan 100% de block, posteriormente reducir el porcentaje de block y aumentar el porcentaje de tabique de tal manera de llegar a elementos 100% de tabique. Con los resultados obtenidos de los ensayos se realizará una comparativa para determinar cómo es el comportamiento de la mampostería combinada con la mampostería de un solo material, los factores que afectan dicho comportamiento y la viabilidad de seguir construyendo con mampostería combinada.

I.3.- Normativa

Es necesario establecer las normativas en las que se basaran los ensayos para tener un adecuado control de los datos que se vayan a obtener y el proceso de elaboración, si bien las normativas se apoyan en ensayos para un solo tipo de material estas se pueden adaptar a las necesidades que se soliciten en este caso para mampostería combinada.

Para los ensayos que se realizaran en el presente trabajo se utilizan las normativas del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE), las cuales se utilizó las siguientes normativas:

- NMX-C-036-ONNCCE-2013 Industria de la Construcción - Mampostería - Resistencia a la Compresión de Bloques, Tabiques O ladrillos y Tabicones y Adoquines - Método de Ensayo.

- NMX-C-038-ONNCCE-2013 Industria de la Construcción - Mampostería - Determinación de las Dimensiones de Bloques, Tabiques O ladrillos y Tabicones - Método de Ensayo.
- NMX-C-404-ONNCCE-2012 Industria de la Construcción - Mampostería - Bloques, Tabiques O ladrillos y Tabicones para uso Estructural - Especificaciones y Métodos de Ensayo.
- NMX-C-464-ONNCCE-2010 Industria de la Construcción - Mampostería - Determinación de la Resistencia A Compresión Diagonal y Módulo de Cortante de Muretes, Así Como Determinación de la Resistencia A Compresión y Módulo de Elasticidad de Pilas de Mampostería de Arcilla O de Concreto - Métodos de Ensayo.
- NMX-C-061-ONNCCE-2015 Industria de la Construcción - Cementantes Hidráulicos - Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cementantes Hidráulicos.
- NMX-C-486-ONNCCE-2014 Industria de la Construcción – Mampostería – Mortero para Uso Estructural – Especificaciones y Métodos de Ensayo.

Así mismo se utilizaron las Normas Técnica Complementaria para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería de la Ciudad de México (NTC de Mampostería).

[1.4.- Investigaciones previas](#)

Se ha encontrado que sean realizado investigaciones previas respecto al comportamiento de mampostería combinada, las cuales son: “Comportamiento ante cargas laterales de muros de mampostería combinada unidos con morteros utilizados en la autoconstrucción” y “Mecanismos de resistencia y deformación de muros de mampostería combinada y confinada”, escritos por el Ing. Víctor Hugo Salinas Vallejo y el Ing. Artemio Juárez Ángeles respectivamente, ambos trabajos son tesis realizadas para obtener el grado de Maestría en Ingeniería Estructural en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.

Juárez (2008) comenta que debido a que en la normativa de mampostería no contempla el uso de mampostería combina es necesario realizar pruebas para valorar la resistencia y deformación de esta ante acciones sísmicas. Motivo por el cual en su tesis decide ensayar dos

configuraciones de mampostería combinada y confinada a escala natural, como se muestra en la Figura 12 y Figura 13. Y llevando esas configuraciones a muros escala natural.



Figura 12 Dimensiones y configuraciones pilas (Juárez Ángeles, 2008)

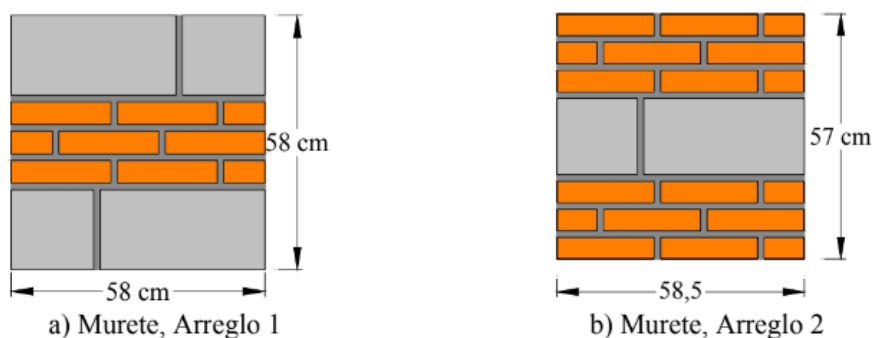


Figura 13 Dimensiones y configuración de los mueres (Juárez Ángeles, 2008)

Dentro de sus conclusiones el punto más importante a retomar en el que se menciona lo siguiente:

A pesar de que se obtuvieron propiedades mecánicas aceptables de la mampostería combinada, se recomienda hacer ensayos de mampostería nivel de muretes y pilas con diferentes tipos de arreglos, solo se ensayaron dos tipos de arreglos, quedando por ensayar más. Aun así, los resultados se consideran aceptables. Se recomienda, además, repetir este protocolo de ensaye con los otros tipos de mortero recomendados por las NTCM-2004: los morteros tipo II y III, donde en teoría deben de presentarse valores promedio inferiores a los presentados (Juárez Ángeles, 2008).

Retomando lo que Juárez (2008) realizó, Salinas (2009) propone realizar ensaye con morteros utilizados en autoconstrucción utilizando los arreglos presentados en Figura 14 y Figura 15.

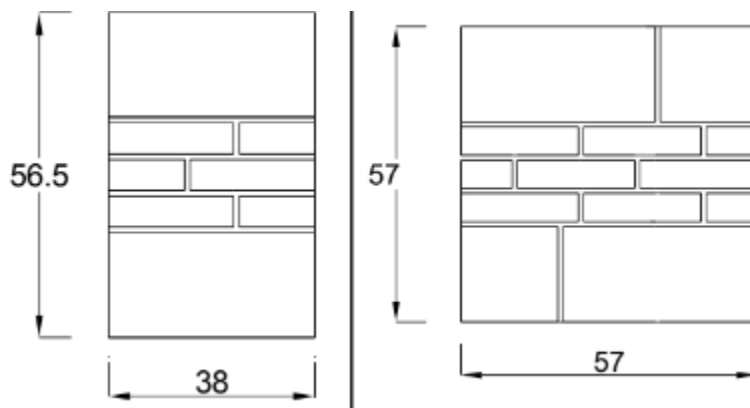


Figura 14 Arreglo 1 para pila y murete (Salinas Vallejo, 2009)

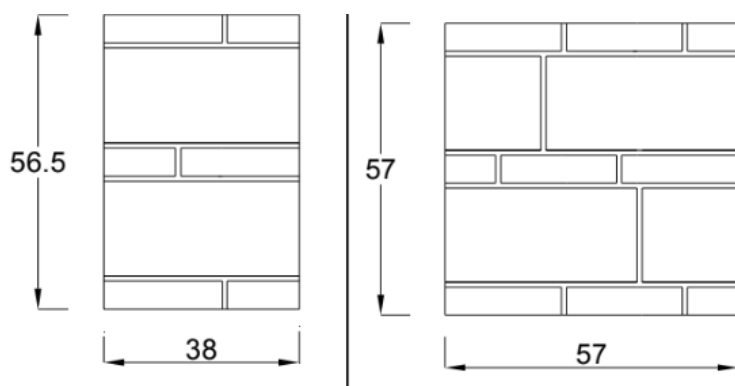


Figura 15 Arreglo 2 para pila y murete (Salinas Vallejo, 2009)

En su investigación Salinas (2009) menciona que en la mayoría de los ensayos de mampostería en México se realizan utilizando mortero Tipo I, que bajo condiciones controladas es más factible obtener las resistencias mínimas establecidas por la normativa, motivo por el cual en su investigación elabora especímenes utilizando morteros de autoconstrucción que son elaborados con una gran cantidad de cal y poco cemento, por lo tanto, su resistencia debe de ser menor a un Tipo I.

De acuerdo con lo mencionado por Juárez (2008) y Salinas (2009) en sus investigaciones es necesario realizar más ensayos de este tipo de mampostería considerando más tipos de arreglos y morteros diferentes al tipo I.

CAPITULO II.- MATERIALES QUE COMPONEN LOS MURETES DE MAMPOSTERÍA COMBINADA

En este capítulo se presentan las características y propiedades de las piezas y mortero que se utilizaron en el presente trabajo de investigación, siguiendo los lineamientos que indican las normativas mexicanas correspondientes, así mismo se describen los pasos que se siguieron y los resultados obtenidos.

Los materiales de mampostería utilizados para la construcción de los muretes y pilas fueron las piezas de block de concreto ligero (vibro compactados), tabique rojo recocido y mortero.

II.1.- Piezas

Dentro de la construcción de mampostería, uno de los materiales principales son las piezas, en las fábricas o proveedores se pueden encontrar una gran variedad de estas, hay piezas artesanales e industrializadas, elaboradas de diferentes materiales, diversidad de dimensiones y usos.

Para la presente investigación se enfoca en dos tipos de piezas en específico, las cuales son: tabique rojo recocido y block vibro compactado. Las características que se consideraron importantes y las cuales son las que se obtuvieron son: dimensiones reales de las piezas, peso volumétrico y resistencia a compresión.

II.1.1- Tabique rojo recocido

El tabique rojo recocido es la pieza utilizada con mayor frecuencia para la construcción de viviendas, esto se debe a su fácil acceso, bajo costo y versatilidad de trabajo. Esta pieza se clasifica en solidas o macizas ya que tienen un área mayor al 75% del área bruta, las artesanales que se elaboran de forma manual y las de uso estructural que sirven para construir muros de carga que soportan acciones gravitacionales y accidentales.

Las piezas de tabique que se utilizaron para el presente trabajo tienen dimensiones comerciales de 5x12x23 cm, y fueron adquiridas en la ciudad de Puebla, las cuales provenían de Cholula, ambos municipios del estado de Puebla. Si bien se cuenta con las medidas comerciales es importante obtener las medidas reales, esto servirá para obtener el dimensionamiento de las piezas se siguieron los pasos de la norma NMX-C-038-ONNCCE-

2013, donde indica como se tiene que tomar las medidas y cuantas piezas son necesarias para obtener un parámetro promedio.

A continuación, se presenta la Tabla 1 con un resumen de las medidas de las piezas:

Tabla 1 Dimensiones de piezas de tabique (Autoría propia, 2024)

Piezas	Largo	Ancho	Alto
	cm	cm	cm
Piezas 1	22.87	11.86	4.91
Piezas 2	22.78	11.53	5.11
Piezas 3	22.83	11.84	5.02
Piezas 4	23.10	11.60	5.09
Piezas 5	22.87	11.60	5.10
Promedio	22.89	11.69	5.04

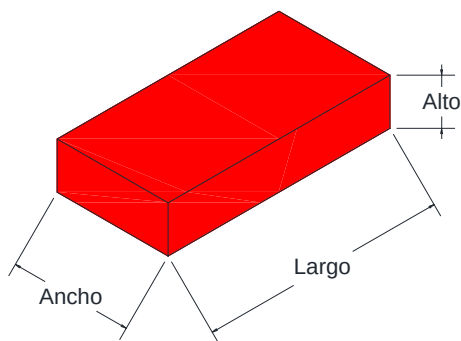


Figura 16 Dimensiones de tabique (Autoría propia, 2024)

De acuerdo con la Tabla 1, las dimensiones finales son de 5.04 cm alto, ancho de 11.69 cm y 22.89 cm de largo y según la normativa referente a las piezas de tabique a base de arcilla menciona que las dimensiones de fabricación de las piezas deben cumplir con las siguientes dimensiones mínimas: 50 mm de alto, 100 mm de ancho y 190 mm de largo (ONNCCE, 2012), por lo que las piezas cumplen de con las condiciones de tabique.

El peso volumétrico es el peso por unidad de volumen de un material, para obtener el valor del peso volumétrico del tabique se obtuvo el peso de las piezas utilizadas con anterioridad, esto con ayuda de una báscula; de los resultados mostrados en la Tabla 1 se obtuvo el volumen de las piezas, para después dividir el peso medido entre el volumen calculado, obteniendo

los valores de peso volumétrico y posteriormente obtener un valor promedio. En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos. Donde se observa un peso promedio de 1,529 kg/m³ estando arriba del peso teórico siendo este de 1,300 kg/m³.

Tabla 2 Peso volumétrico de las piezas de tabique (Autoría propia, 2024)

Piezas	Volumen m ³	Peso kg	Peso volumétrico kg/m ³	Promedio kg/m ³
Piezas 1	0.00133	2.00	1,501.84	1,529.73
Piezas 2	0.00134	2.02	1,505.25	
Piezas 3	0.00136	2.08	1,532.83	
Piezas 4	0.00136	2.12	1,555.77	
Piezas 5	0.00135	2.10	1,552.95	

II.1.2.- Block vibro compactado

Los blocks vibro compactados en los últimos años han logrado posicionarse como piezas predilectas en las construcciones de las viviendas, esto debido que son de fácil acceso, ligeros a comparación de una pieza de concreto, generan un avance rápido en la obra por sus dimensiones y versatilidad durante su colocación. La clasificación de estas piezas son las siguientes: pieza maciza, industrializada (llevan un proceso en el cual se ocupa maquinaria especializada para su elaboración), uso estructural.

Los blocks utilizados en este trabajo fueron elaborados con arena, cemento y tepetzil, llevados a un proceso de vibro compactado, las medidas comerciales son de 12x15x30 cm, las piezas son de San Pablo del Monte, Tlaxcala. A pesar de conocer las piezas comerciales fue necesario realizar la determinación de las medidas reales de las piezas de acuerdo como indica la NMX-C-038-ONNCCE-2013, así como también obtener la resistencia a compresión de las piezas como lo indica la NMX-C-036-ONNCCE-2013.

Para obtener el dimensionamiento de las piezas se siguieron los pasos de la norma NMX-C-038-ONNCCE-2013 donde indica como se tiene que tomar las medidas y cuantas piezas son necesarias para obtener un parámetro promedio.

A continuación, se presenta en la Tabla 3 un resumen de las medidas de las piezas:

Tabla 3 Dimensiones de piezas de block (Autoría propia, 2024)

Piezas	Largo	Ancho	Alto
	cm	cm	cm
Piezas 1	30.23	11.64	15.25
Piezas 2	30.27	11.61	15.57
Piezas 3	30.40	11.69	15.20
Piezas 4	30.30	11.76	15.10
Piezas 5	30.30	11.76	15.10
Promedio	30.30	11.69	15.24

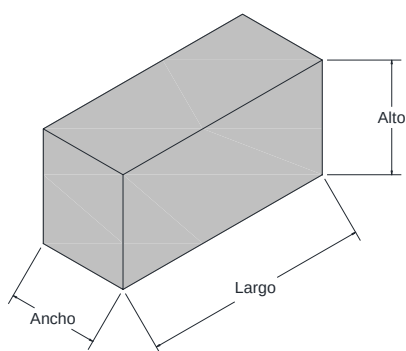


Figura 17 Dimensiones de block (Autoría propia, 2024)

De acuerdo con la Tabla 3 las dimensiones finales son 11.69 cm de ancho, 15.24 cm de alto y 30.30 cm de largo, de lo mencionado en la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 para bloques las dimensiones mínimas son de 10 cm de ancho, 20 cm de alto y 40 cm de largo, sin embargo, también se menciona que se pueden llegar a fabricar bloques con medidas especiales, también cabe recalcar que las normas dan parámetro para piezas estandarizadas no así para las de nueva innovación, por lo que se podría decir que la pieza no cumple con las especificaciones de la norma , pero no quiere decir la pieza no se pueda utilizar, ya que este tipo de piezas son muy usadas en la zona conurbana de Puebla y Tlaxcala.

En la Tabla 4 se presentan los valores obtenidos del peso volumétrico de las piezas de block utilizadas para la elaboración de los muretes y pilas. De acuerdo con lo observado el peso promedio es de 927.73 kg/m³ siendo este inferior al del tabique, siendo lo que se denomina block ligero.

Tabla 4 Peso volumétrico de las piezas de block (Autoría propia, 2024)

Piezas	Volumen m ³	Peso kg	Peso volumétrico kg/m ³	Promedio kg/m ³
Piezas 1	0.00536	4.86	906.04	927.73
Piezas 2	0.00547	4.60	840.94	
Piezas 3	0.00540	5.04	933.30	
Piezas 4	0.00538	5.36	995.90	
Piezas 5	0.00538	5.18	962.45	

II.1.3- Resistencia a compresión

La resistencia a la compresión simple de una pieza es un parámetro importante, se determina mediante el ensaye de una pieza ante una carga vertical monótona creciente. Este parámetro puede ser muy variado de acuerdo con el tipo de material y geometrías de las piezas. Por lo anterior, los resultados del ensaye son solo comparables para piezas del mismo tipo, y la relación entre la resistencia a compresión de la pieza y el comportamiento estructural del muro puede ser distinto para materiales diferentes (Tena y Miranda, 2002).

Para determinar la resistencia a compresión de las piezas se obtiene a partir de lo que indica la norma NMX-C-036-ONNCCE-2013, donde menciona los pasos a seguir para el ensaye, así como el cálculo de los valores.

Para calcular la resistencia a la compresión referida al área bruta de una sección, es necesario tomar la carga máxima entre el área transversal de la pieza, como se indica en la Ecuación 1 que se presenta a continuación:

Ecuación 1

$$f_p = \frac{P}{A}$$

Donde:

- f_p Es el esfuerzo resistente a la compresión, kgf/cm².
- P Es la carga máxima, kgf.
- A Área bruta transversal del espécimen en cm²

Lo anterior fue para obtener la resistencia a compresión individual, para obtener la resistencia a compresión de diseño (f_p^*) se determina de acuerdo con lo que indica la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012, utilizando la Ecuación 2, donde menciona como obtener dicho valor, se utilizan los resultados obtenidos de la Ecuación 2.

Ecuación 2

$$f_p^* = \frac{\bar{f}_p}{1 + 2.5c_p}$$

Donde:

- f_p^* Es la resistencia de diseño a compresión, referida al área bruta.
- $\bar{f}_p$ Es la media de la resistencia a la compresión referida al área bruta
- c_p Es el coeficiente de variación de la resistencia de diseño a compresión de las piezas, se calcula mediante el cociente de la desviación estándar entre la medida de la resistencia a la compresión. El coeficiente de variación c_p no debe tomarse menor que 0.10. Para el caso de no disponer del número de ensayos requeridos, se debe usar los siguientes valores de c_p .
 - $c_p = 0.20$ Para plantas mecanizadas que evidencien contar con un sistema de control de calidad.
 - $c_p = 0.30$ Para plantas mecanizadas que no cuenten con un sistema de control de calidad.
 - $C_p = 0.35$ Para piezas de producción artesanal.

En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos del ensaye realizado a las piezas de block, donde se muestra el valor de la carga por pieza, la resistencia compresión, la resistencia promedio, el coeficiente de variación (C_p), así como los valores de área se obtuvieron de multiplicar el resultado del promedio del largo y ancho de la Tabla 3. Como se observa la resistencia promedio de las piezas es de 65.33 kgf/cm² siendo un valor bajo en comparación con lo señalado en la normativa referente a bloque macizo, sin embargo, como se mencionó anteriormente la normativa no considera bloques ligeros o vibrocompactados, y al ser una pieza muy utilizada se concluye que es buena para su utilización.

Tabla 5 Resistencia a compresión del block (Autoría propia, 2024)

Piezas	Área cm ²	Carga kgf	f_p kgf/cm ²	$\bar{f}_p$ kgf/cm ²	C_p Normativa	f_p^* kgf/cm ²
Piezas 1	351.82	22,220	63.16	65.33	0.30	37.33
Piezas 2	351.40	15,860	45.13			
Piezas 3	355.27	23,810	67.02			
Piezas 4	356.43	28,700	80.52			
Piezas 5	356.43	25,240	70.81			

En la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos del ensaye realizado a las piezas de tabique, donde se presente el valor de la carga por pieza, la resistencia compresión, la resistencia promedio, el coeficiente de variación (C_p), así como los valores de área se obtuvieron de multiplicar el resultado del promedio del largo y ancho de la Tabla 1. Como se observa la resistencia promedio de las piezas de tabique es de 104.22 kgf/cm², siendo un valor que se encuentra por debajo de lo señalado en la normativa el cual es de 110 kgf/cm², debido a que son piezas disponibles de la zona, las más utilizadas y que a pesar de tener menor resistencia que lo mencionada por la normativa, tienen un valor muy cercano, se decidió que serían las piezas utilizadas para la fabricación de los elementos.

Tabla 6 Resistencia a compresión de Tabique (Autoría propia, 2024)

Piezas	Área cm ²	Carga kgf	f_p kgf/cm ²	$\bar{f}_p$ kgf/cm ²	C_p Normativa	f_p^* kgf/cm ²
Piezas 1	271.13	25,560	94.27	104.22	0.35	55.58
Piezas 2	262.62	25,450	96.91			
Piezas 3	270.38	31,570	116.76			
Piezas 4	267.96	26,780	99.94			
Piezas 5	265.25	30,030	113.21			

Para el cálculo de los coeficientes de variación que se calculó para el block es de 0.20 y para el tabique es de 0.10, pero debido a que no se cuenta con la cantidad suficiente de ensayos es necesario tomar los valores sugeridos por la normativa y los que se presentan en las tablas, para el caso de block se utilizó un C_p de 0.30 debido a que se elaboraron mediante un proceso mecanizado, pero no se tiene un control adecuado de control de calidad de las piezas, en el

caso del tabique se utilizó un C_p de 0.35 ya que son piezas artesanales que no cuentan con ningún control de calidad para su elaboración.



Figura 18 Ensayo de piezas de block (Autoría propia, 2024)



Figura 19 Ensayo de piezas de tabique (Autoría propia, 2024)

En la Figura 18 y Figura 19, se muestran imágenes del ensayo de las piezas de block y de tabique respectivamente, ensayadas en las caras de apoyo de acuerdo con cómo se usan, se observa las piezas fallan por aplastamiento por desprenderse en partes.

En la Figura 20 se muestra la relación Carga – Desplazamiento de los blocks ensayados que representa la carga aplicada en relación con el desplazamiento de las piezas, se observa como las piezas 1, 2, 3 y 5 tienen el mismo comportamiento en el rango elástico lineal siendo diferente la pieza 4 que a su vez es la que tiene la mayor carga y mayor desplazamiento.

En la Figura 21 se muestra la relación Carga – Desplazamiento de los tabiques ensayados que representa la carga aplicada en relación con el desplazamiento de las piezas, donde se observa como las piezas 1 y 5 tienen el mismo comportamiento en el rango elástico lineal, mientras 2, 3 y 4 tienen el mismo comportamiento.

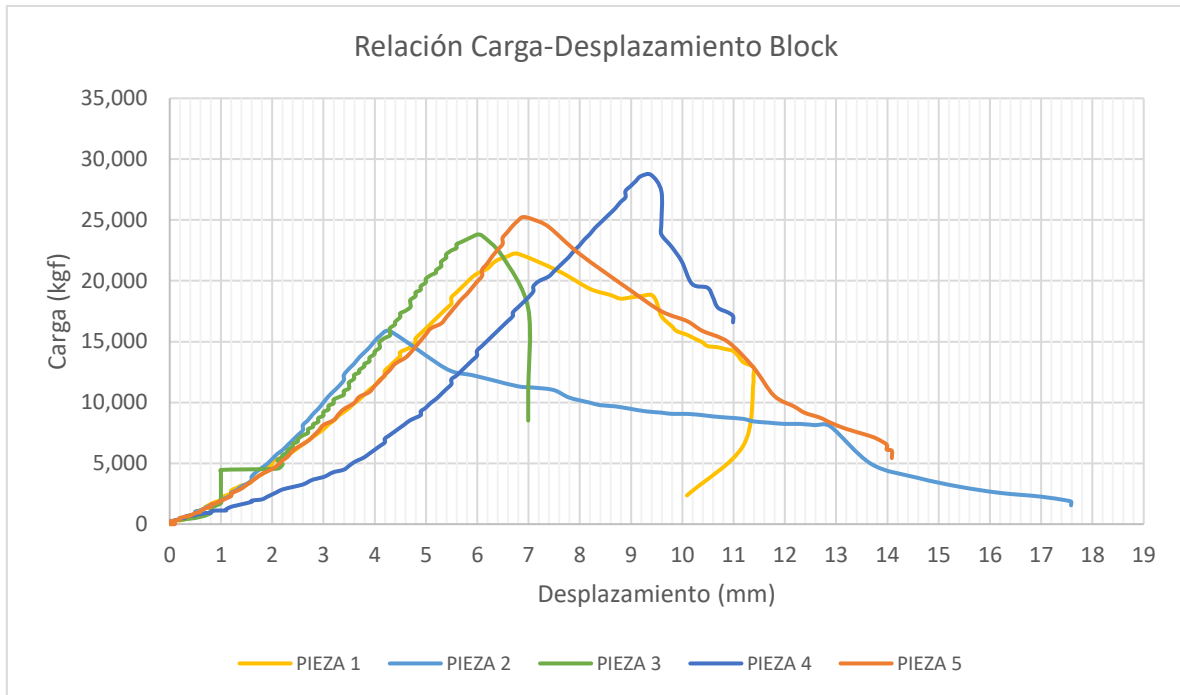


Figura 20 Relación Carga - Desplazamiento piezas de blocks (Autoría propia, 2024)

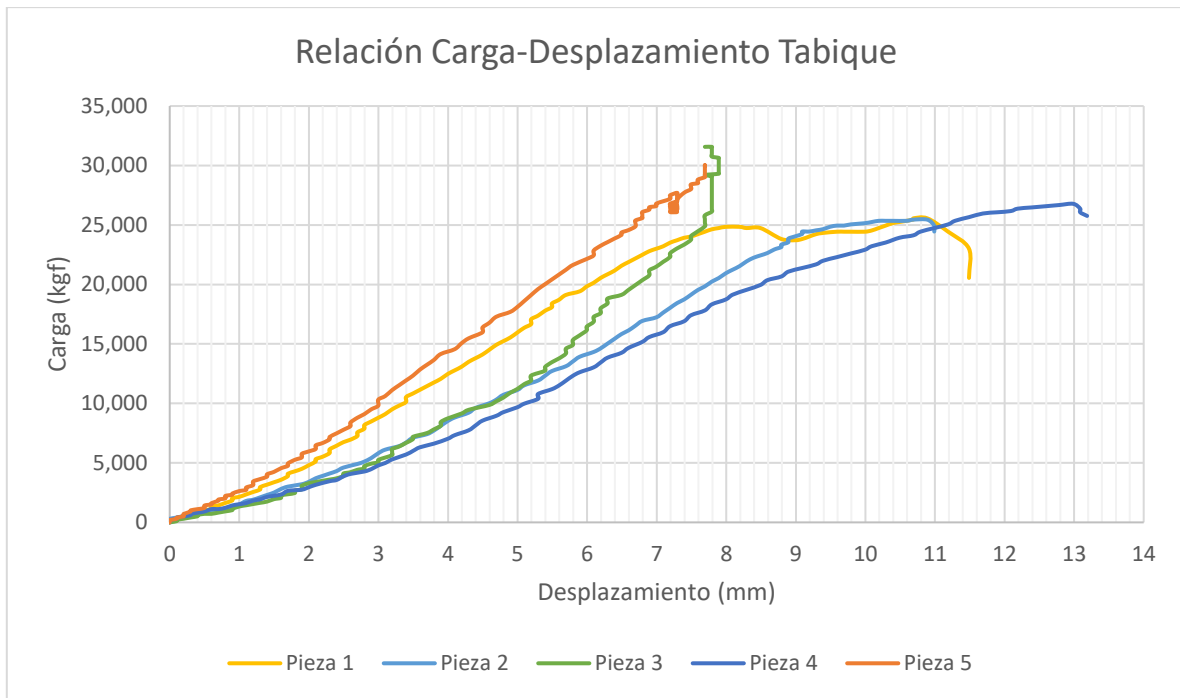


Figura 21 Relación Carga - Desplazamiento de piezas de tabique (Autoría propia, 2024)

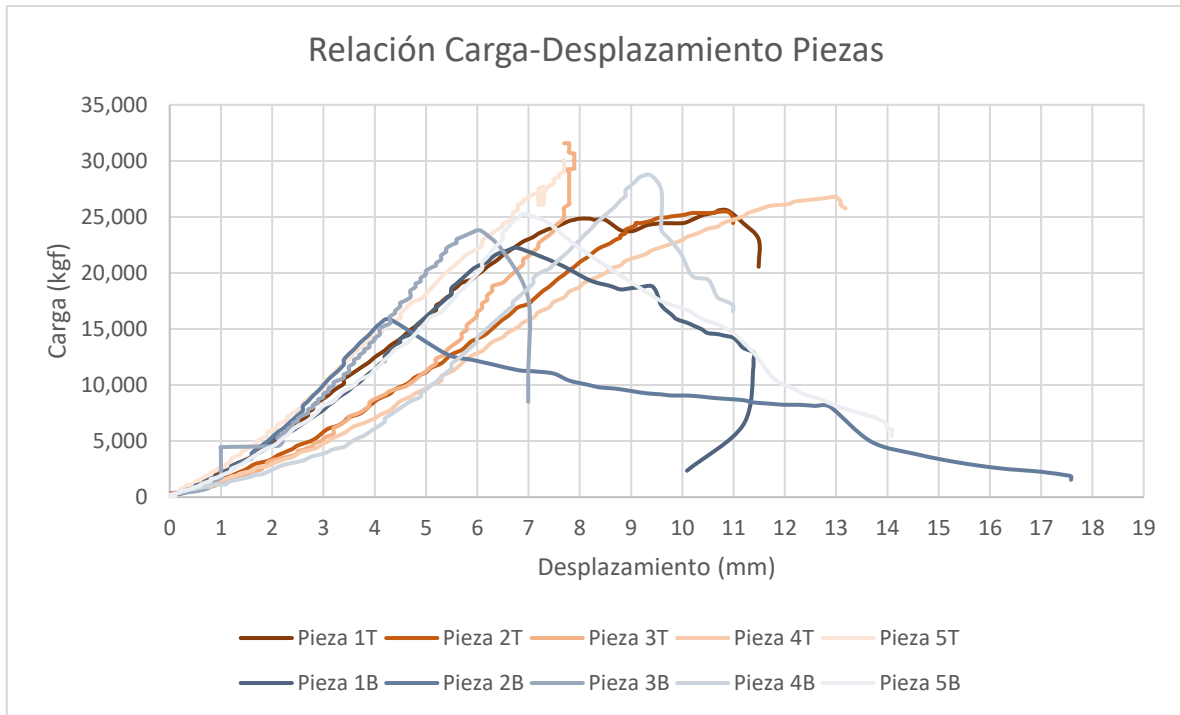


Figura 22 Relación Carga-Desplazamiento de piezas de mampostería (Autoría propia, 2024)

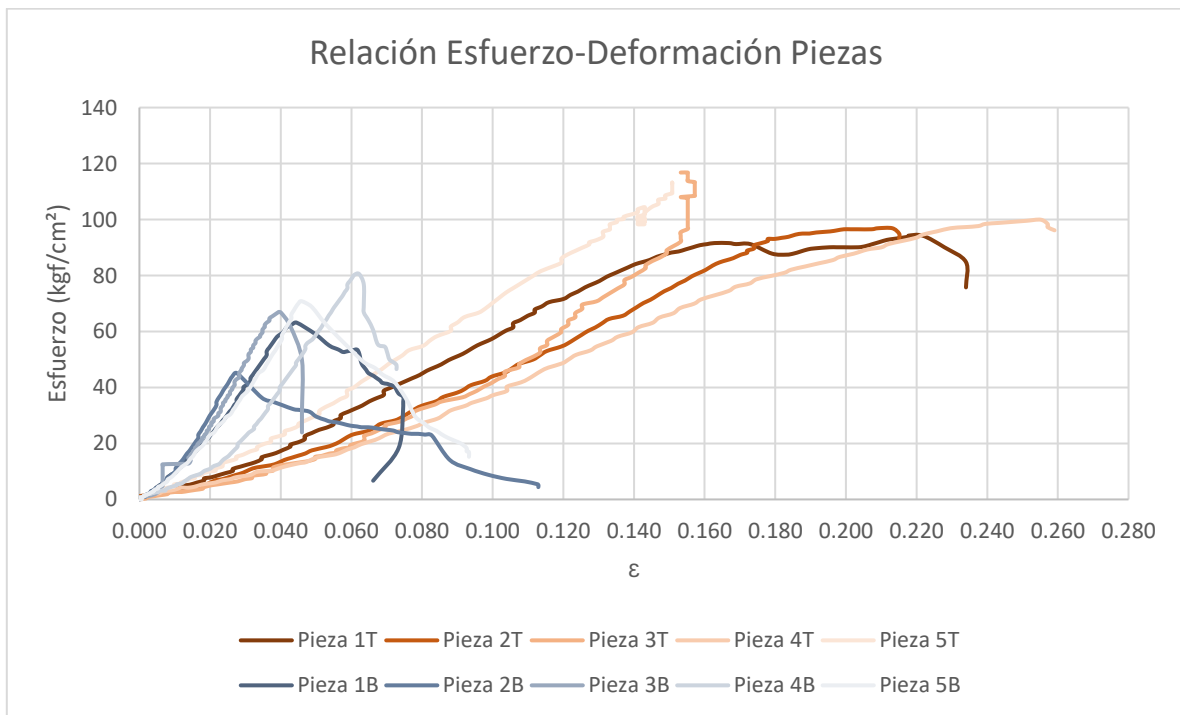


Figura 23 Relación Esfuerzo-Deformación de piezas de mampostería (Autoría propia, 2024)

En la Figura 22 se presenta la superposición de la Figura 20 y Figura 21, donde se observa que los desplazamientos registrados y las cargas son muy similares para la pieza de block y de tabique, sin embargo, en la Figura 23 cuando se vuelve Esfuerzo-Deformación es cuando los valores son diferentes, teniendo una menor deformación y esfuerzo a compresión de las piezas de block en comparación con las de tabique. Para este caso no fue necesario obtener el módulo de elasticidad ya que solo se requiere como elemento y no como pieza.

II.2- Mortero

Los morteros son mezclas de aglomerantes que se obtiene de combinar arena, agua y un material cementante que podría ser cemento, cal, o una combinación de estos.

Algunas de las principales propiedades de los morteros son: su resistencia a compresión y tensión, adherencia con las piezas, módulo de elasticidad, fraguado, trabajabilidad e impermeabilidad. Las propiedades mecánicas de los morteros son muy variables, estas dependen del tipo de cementante utilizado, de la relación arena/cementante, así principalmente de la cantidad de agua utilizada durante su elaboración.

Para la presente investigación se enfocó principalmente en obtener la resistencia a compresión del mortero utilizado para la elaboración de las probetas, muretes y pilas. Para obtener la resistencia a compresión de los morteros se obtiene siguiendo los lineamientos que indica la norma NMX-C-061-ONNCCE-2015, así como también lo especificado en la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014.

De acuerdo con lo indicado en la NMX-C061-ONNCCE-2015 se registra la carga máxima que indica la máquina de ensayo, calculando la resistencia compresión individual, dividiendo dicha carga entre el área de la sección transversal del espécimen, utilizando la Ecuación 3:

Ecuación 3

$$R = \frac{C_{m\acute{a}x}}{A}$$

Donde:

- $C_{m\acute{a}x}$ es la carga máxima en kgf.

- R es la resistencia a la compresión.
- A es el área de la sección transversal del espécimen.

Mientras para obtener la resistencia a compresión de diseño se calcula de acuerdo con lo que indica la NMX-486-ONNCCE-2014, utilizando la Ecuación 4:

Ecuación 4

$$f_j^* = \frac{\bar{f}_j}{1 + 2.5c_j}$$

Donde:

- $\bar{f}_j$ es la resistencia promedio a compresión de cubos de mortero.
- c_j es el coeficiente de variación de la resistencia a compresión del mortero que en ningún caso se debe de tomar menor que 0.2.

Para la dosificación de mortero se utilizó lo señalado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería de la Ciudad de México (NTC 2023) utilizando los valores de la Tabla 7:

Tabla 7 Proportionamientos, en volumen, recomendados, para mortero dosificado en obra (NTC, 2023)

Tipo de mortero	Parte de cemento hidráulico	Partes de cemento de albañilería	Partes de cal hidratada	Partes de arena
II	1	0	0 a $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$

Si bien se decidió por esa dosificación, para la elaboración de los especímenes se trató de crear una condición que se realiza en obra que es donde el mortero es elaborado a la intemperie y en condiciones no idóneas.

Para los muretes se realizaron 9 cubos de mortero por aparejo y para las pilas se fabricaron 6 cubos, los cuales se muestrearon de la mezcla realizada para la construcción de los muretes y pilas. Los cubos se secaron en el mismo ambiente que los muretes y pilas, esto para establecer las mismas condiciones y se obtuvieran resultados adecuados,

Los resultados de los ensayos de cubos de mortero para cada tipo de aparejo se presentan en la Tabla 8 para el caso de muretes y en la Tabla 9 para el caso de pilas. Donde se presenta el promedio de la resistencia a compresión, el coeficiente de variación experimental (c_j) para cubos de mortero y la resistencia a compresión de diseño, están ordenados por tipo de aparejo.

Tabla 8 Resistencia promedio y de diseño de mortero para muretes (Autoría propia, 2024)

Muretes	$\bar{f}_j$ kgf/cm ²	c_j	f_j^* kgf/cm ²
Aparejo 1	137.72	0.17	95.90
Aparejo 2	117.11	0.19	80.00
Aparejo 3	84.10	0.20	56.28
Aparejo 4	64.25	0.21	41.92
Aparejo 5	82.86	0.18	57.46
Aparejo 6	70.04	0.25	43.04
Aparejo 7	117.29	0.11	91.25
Aparejo 8	94.63	0.19	63.70

Tabla 9 Resistencia promedio y de diseño de mortero para pilas (Autoría propia, 2024)

Pilas	$\bar{f}_j$ kgf/cm ²	c_j	f_j^* kgf/cm ²
Aparejo 1	98.47	0.19	67.19
Aparejo 2	104.68	0.25	64.68
Aparejo 3	83.59	0.19	56.82
Aparejo 4	66.50	0.17	46.92

De acuerdo con lo que señala la NMX-C-486-ONNCCE-2014 los tipos de mortero se clasifican como indica la Tabla 10.

Tabla 10 Tipos de mortero y resistencia de diseño a la compresión (ONNCCE, 2014)

Tipo de mortero	Resistencia promedio a la compresión kgf/cm ²	Resistencia Mínima individual a la compresión kgf/cm ²
I	180	125
II	110	75
III	60	40

Se puede observar que de acuerdo con lo mostrado en la Tabla 10 la resistencia promedio del ensaye de cubos de mortero no corresponde a un Tipo II, si no a un Tipo III, tanto en muretes como en pilas, exceptuando algunos casos; por el cual, el mortero utilizado se clasificaría como un Tipo III de acuerdo con la NMX-C-486-ONNCCE-2014 y en el caso de las NTC 2023 se encontraría fuera de Tipo II. Lo cual se espera que afecte los resultados de los ensayos de los muretes y pilas.

Para obtener los valores de la resistencia a diseño (f_j^*) se calculó con el coeficiente de variación (c_j) que se obtuvo de acuerdo con los ensayos realizados, esto debido a que esa resistencia no se utilizará para algún diseño, si no más bien para fines de investigación.

Así mismo, en la Tabla 11 y Tabla 12 se presentan los pesos volumétricos de los morteros donde se observa que el volumen es de los morteros de muretes y pilas son muy similares.

Tabla 11 Pesos Volumétricos de morteros en muretes (Autoría propia, 2024)

Muretes	Peso Volumétrico kg/m ³	Peso Volumétrico Ton/m ³	Peso promedio Ton/m ³
Aparejo 1	1849.97	1.85	1.73
Aparejo 2	1745.91	1.75	
Aparejo 3	1730.60	1.73	
Aparejo 4	1636.57	1.64	
Aparejo 5	1774.91	1.77	
Aparejo 6	1653.72	1.65	
Aparejo 7	1713.91	1.71	
Aparejo 8	1756.48	1.76	

Tabla 12 Peso Volumétrico de mortero en pilas (Autoría propia, 2024)

Pilas	Peso Volumétrico kg/m^3	Peso Volumétrico Ton/m^3	Peso promedio Ton/m^3
Aparejo 1	1776.83	1.78	1.76
Aparejo 2	1770.84	1.77	
Aparejo 3	1752.13	1.75	
Aparejo 4	1753.34	1.75	

La Tabla 8 y la Tabla 9 están directamente relacionadas con la Tabla 11 y la Tabla 12 esto debido a que para poder obtener los valores de las dos primeras tablas es necesario medir y pesar los cubos, de ahí que es posible obtener los valores de la Tabla 11 y Tabla 12.



Figura 24 Ensayo de cubos de mortero (Autoría propia, 2024)

En la Figura 24 se muestran fotografías representativas del ensayo de cubos de mortero, en donde se observa una foto antes del ensayo y posterior al mismo, después de ser ensayado se observa una falla con tendencia cónica, lo que da a entender que los cubos fallaron por compresión.

CAPITULO III.- ENSAYE DE MURETES A COMPRESIÓN DIAGONAL

Las cargas laterales en un muro inducen esfuerzos de tensión diagonal que pueden ocasionar falla del muro: este tipo de falla se reconoce por la grieta diagonal que atraviesa pieza y mortero, empezándose a formar en el centro y extendiéndose hasta los extremos y es aproximadamente recta (Meli, 1971).

En la teoría del análisis elástico se considera que la mampostería es un material homogéneo e isotrópico, sin embargo, esto no se cumple en su totalidad, debido a que se compone por dos materiales, mortero y pieza, con características completamente diferentes, pero entonces ¿Qué pasa cuando se utilizan dos tipos de piezas que también tienen características diferentes?, la mampostería se convierte en un material completamente no homogéneo.

Para poder observar el comportamiento de un muro ante cargas laterales se realiza la prueba compresión diagonal, donde la prueba consiste en ensayar muros a escala denominados muretes. La prueba para obtener la resistencia a compresión diagonal la determina la norma NMX-C-464-ONNCCE-2010, donde consiste en ensayar las probetas ante una carga vertical en una de sus diagonales.

El tipo de falla deseable es por tensión diagonal, ya que la grieta atraviesa de forma indistinta la pieza y el mortero, esta se presenta cuando existe una adecuada adherencia o trabazón entre las piezas y el mortero. Sin embargo, se puede presentar una falla por cortante o también conocida por adherencia en donde existe un deslizamiento de las piezas a través de las juntas, por la pérdida de adherencia. También se puede llegar a presentar una falla combinada, que es una combinación de las fallas mencionadas anteriormente en donde las grietas atraviesan junta y pieza y en alguna parte continua en las juntas (Ver Figura 25).

Los ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (FI-BUAP), donde se encuentra el Marco de Reacción (Figura 26 a), el cual es espacioso y rígido lo que permite llevar a cabo los ensayos y con esto se cumple el inciso 5.1 de la norma NMX-C-464-ONNCCE-2010; el marco cuenta con una bomba que permite regular la velocidad de aplicación de carga y un Display (Figura 26 b) el cual registra la carga aplicada con una aproximación de 0.01

toneladas. Así mismo, el laboratorio cuenta con un sistema de adquisición de datos (Datalogger – Metronic), con ayuda de una celda y carga y transductores (Figura 27) se registra el desplazamiento que se genera respecto a la carga aplicada y partir de estos datos se obtiene la relación Carga – Desplazamiento.

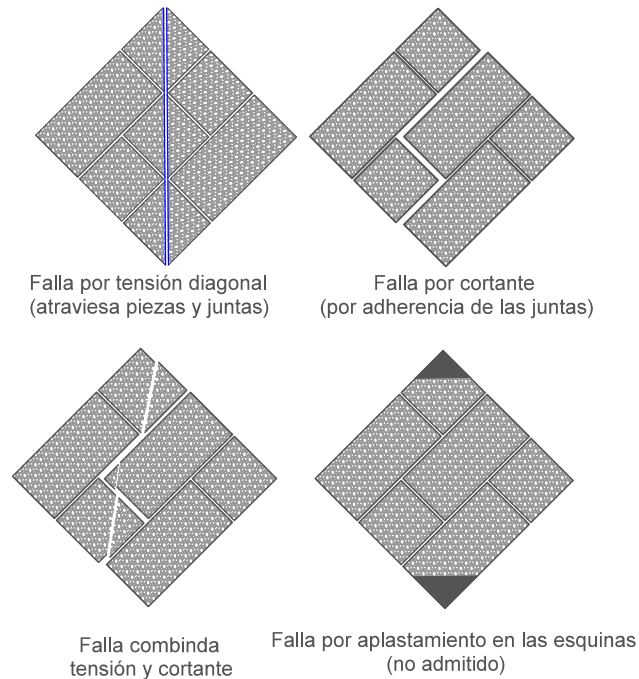


Figura 25 Tipos de fallas de muretes a compresión diagonal (ONNCCE, 2010)



Figura 26 Marco de reacción y sistema de bomba de FI-BUAP (Autoría propia, 2024)



a) Datalogger Metronic



b) Transductor

Figura 27 Sistema de adquisición de datos de FI-BUAP (Autoría propia, 2024)

III.1.- Características de los muretes de acuerdo con su aparejo

Como se menciona en el Capítulo I existen una gran variedad de aparejos, se tomó la decisión de construir 8 tipos diferentes, los cuales varían la densidad de las piezas de block y tabique utilizadas para su elaboración, que van de 100% de block a 100% de tabique pasando por una combinación de densidades. A continuación, se presenta la Tabla 13 donde se muestran los 8 tipos de combinaciones que se elaboraron para ensayar.

Tabla 13 Aparejos de muretes (Autoría propia, 2024)

	% Block	% Tabique
Aparejo 1	100	0
Aparejo 2	78	22
Aparejo 3	57	43
Aparejo 4	57	43
Aparejo 5	57	43
Aparejo 6	39	61
Aparejo 7	21	79
Aparejo 8	0	100

Los muretes fueron elaborados en las instalaciones del Laboratorio de Estructuras de FI-BUAP, en la Figura 28 se muestran los aparejos que se construyeron y que se describen en la Tabla 13.

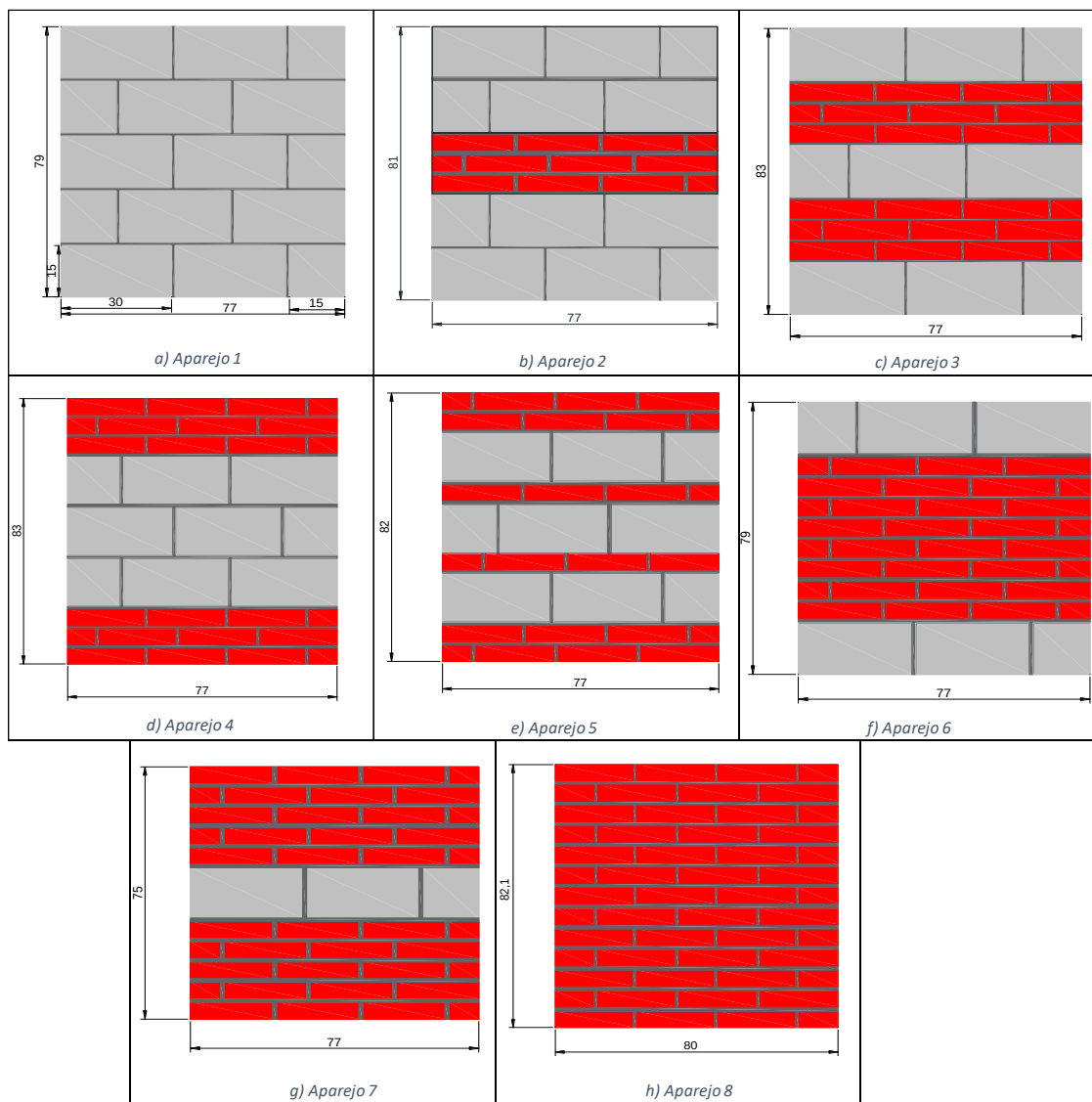


Figura 28 Aparejos de muretes (Autoría propia, 2024)

III.2.- Resistencia a compresión diagonal y tipo de falla

La determinación de la resistencia a compresión diagonal de la mampostería se debe de realizar en un mínimo de tres muretes construidos con el mismo tipo de piezas, mortero y técnica en la fabricación (ONNCCE, 2010).

Los muretes se ensayaron sometiénolos a una carga de compresión a lo largo de su diagonal y el esfuerzo cortante se determina dividiendo la carga máxima entre el área bruta del murete medida sobre la diagonal. Con ayuda del sistema de adquisición de datos se puede obtener la relación Carga-Desplazamiento.

Para poder la resistencia a compresión diagonal utiliza la Ecuación 5:

Ecuación 5

$$v_m = \frac{P}{tL_c}$$

Donde:

- v_m es la resistencia a compresión diagonal del murete (kgf/cm²)
- P es la carga máxima aplicada (kgf)
- t es el espesor del murete (cm)
- L_c es la longitud de la diagonal a compresión (cm)

Para poder obtener la resistencia a compresión diagonal para fines de diseño se calcula de acuerdo con la Ecuación 6:

Ecuación 6

$$v_m^* = \frac{\overline{v_m}}{1 + 2.5c_v}$$

Donde:

- v_m^* es la resistencia a compresión diagonal para fines de diseño (kgf/cm²)
- $\overline{v_m}$ es el promedio de los esfuerzos resistentes de los muretes ensayados (kgf/cm²)
- c_v Coeficiente de variación de los muretes ensayados calculado como el coeficiente de la desviación estándar entre la media, no debe tomarse menor a 0.10 para el caso de verificar el control de calidad de obra, ni que 0.20 en otros casos.

Del sistema de adquisición de datos se extra el desplazamiento y su carga correspondiente, a partir de estos datos y de tratarlos se obtiene la relación Esfuerzo – Deformación para cada aparejo.

Lo primero que se obtiene es la deformación unitaria para cada instante de desplazamiento registrado, y para ello se utilizó la Ecuación 7:

Ecuación 7

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta_i}{L_c}$$

Donde:

- ε es la deformación unitaria en el instante i
- L_c es la longitud de la diagonal a compresión del murete (mm)
- Δ_i es el desplazamiento en el instante i (mm)

Posteriormente se utilizó la Ecuación 8 para obtener el esfuerzo respecto al instante de carga correspondiente al desplazamiento registrado:

Ecuación 8

$$v_i = \frac{P_i}{tL_c}$$

Donde:

- v_i es el esfuerzo a compresión diagonal en el instante i (kgf/cm²)
- P_i es la carga máxima aplicada en el instante i (kgf)
- t es el espesor del murete (cm)
- L_c es la longitud de la diagonal a compresión (cm)

Una vez obtenido los valores de esfuerzo y deformación se gráfica esta relación. Así mismo, se aclara que la relación Esfuerzo – Deformación obtenida es representativa, ya que no se instrumentó de acuerdo con lo señalado en la normativa NMX-C-464-ONNCCE-2010, sin embargo, se considera que los valores son válidos ya que se obtuvieron a partir de una interpretación de datos reales y también que se realiza con fines comparativos de la presente investigación.

por la normativa, sin embargo, como se realiza podemos obtener valores que pueden servir para realizar una comparativa entre las mismas relaciones.

Con la relación Esfuerzo – Deformación es posible obtener el módulo de cortante, G_m , se calcula utilizando la Ecuación 9:

Ecuación 9

$$G_m = \frac{\tau_2 - \tau_1}{\gamma_2 - \gamma_1}$$

Donde:

- G_m es el módulo de cortante kgf/cm²
- τ_1 es el esfuerzo cortante correspondiente al punto 1 de deformación angular kgf/cm²
- τ_2 es el esfuerzo cortante correspondiente al punto 2 de deformación angular kgf/cm²
- γ_1 es la deformación angular producida por el esfuerzo τ_1
- γ_2 es la deformación angular producida por el esfuerzo τ_2

III.2.1.- Aparejo 1

En la Tabla 14 se presenta un resumen de los valores obtenidos de los ensayos a compresión diagonal, donde se presenta el área bruta y la carga máxima, con estos datos se obtuvo la resistencia a compresión diagonal, el promedio y el coeficiente de variación, este último fue calculado como se explica en la Ecuación 6.

El coeficiente de variación permite evaluar que tan dispersos o cercanos se encuentran los valores obtenidos, es decir, entre más pequeño sea los valores son cercanos y entre más grande los valores son dispersos.

Se presentan las relaciones Carga – Desplazamiento y Esfuerzo -Deformación para cada tipo de aparejo ensayada,

Tabla 14 Resistencia a compresión diagonal aparejo 1 (Autoría propia, 2024)

	Área	Carga	v_m	$\overline{v_m}$	c_v	v_m^*
	cm ²	kgf	kgf/cm ²	kgf/cm ²		kgf/cm ²
Murete 1	1,313.50	17,160	13.06	11.02	0.16	7.86
Murete 2	1,325.33	13,340	10.07			
Murete 3	1,289.68	12,800	9.92			

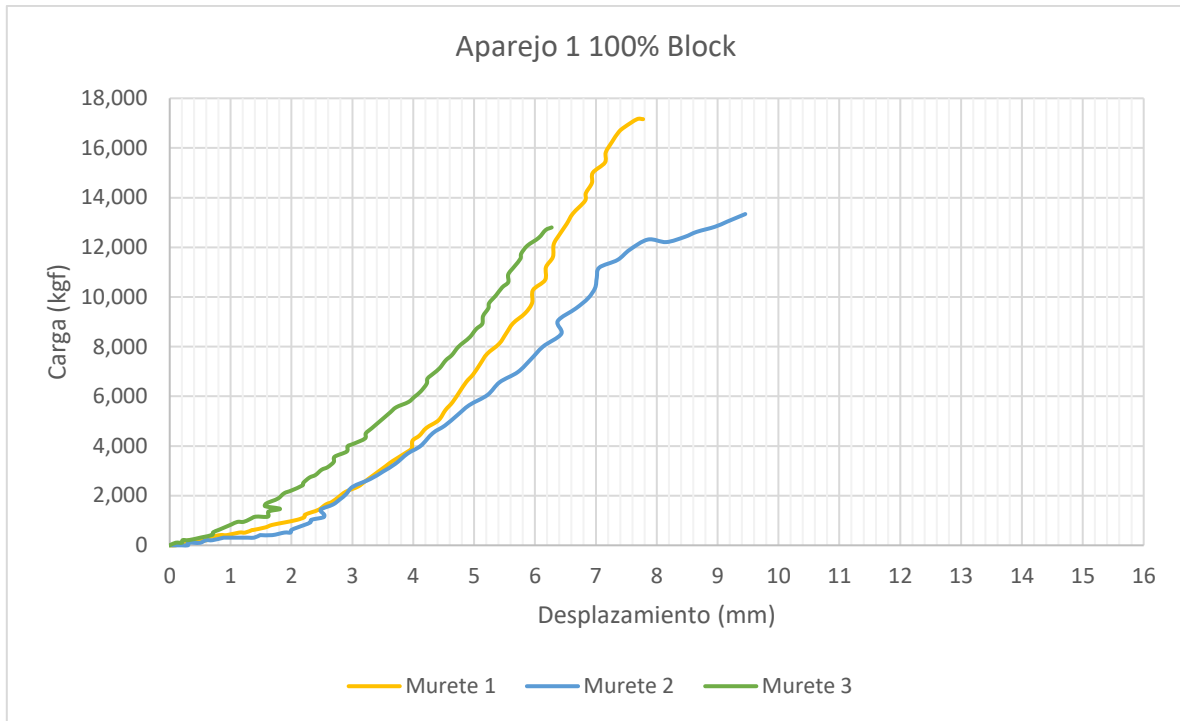


Figura 29 Relación Carga-Desplazamiento Aparejo 1 (Autoría propia, 2024)

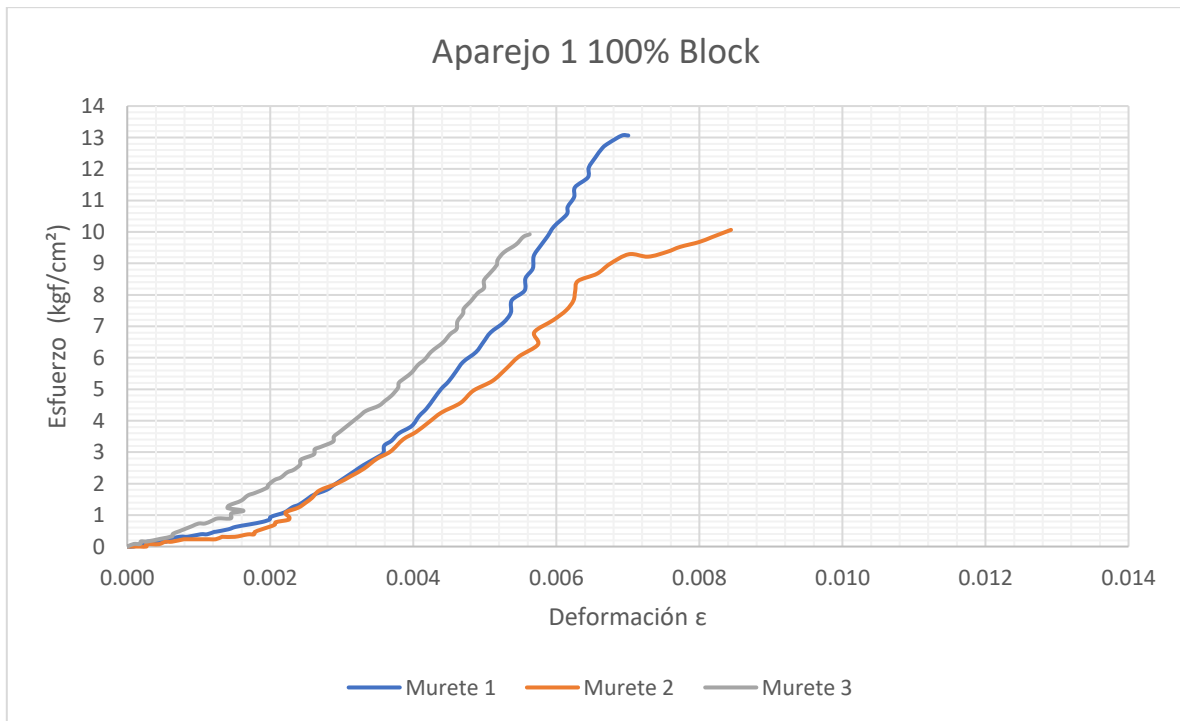


Figura 30 Relación Esfuerzo-Deformación Aparejo 1 (Autoría propia, 2024)

La Figura 29 se presenta la relación que se obtuvo a partir de los datos extraídos del equipo de adquisición de datos (Datalogger) para cada murete ensayado del aparejo 1, se puede observar que las relaciones presentan un comportamiento similar, por lo que se tomaron en cuenta las 3 relaciones para realizar un promedio que se presenta en el Capítulo V.

A partir de la Figura 29 y de los datos obtenidos del Datalogger se realizó la estimación de la relación Esfuerzo – Deformación que se representada en la Figura 30.

En la Tabla 15 se presentan los resultados para el módulo de cortante obtenidos para el aparejo 1, el promedio obtenido siendo de 1,694.84 kgf/cm² y un coeficiente de variación de 0.08, el cual es bajo.

Tabla 15 Módulo de cortante aparejo 1 (Autoría propia, 2024)

		G_m	$\overline{G_m}$	c_v
		Kgf/cm ²	Kgf/cm ²	
Aparejo 1	Murete 1	1,752.03	1,694.84	0.08
	Murete 2	1,548.56		
	Murete 3	1,783.93		

Durante el ensaye de los muretes unos de los aspectos importantes a considerar es la falla que se presenta, al inicio del presente capítulo se da la descripción del tipo de fallas que se pueden presentar mientras se realiza el ensaye de las probetas.

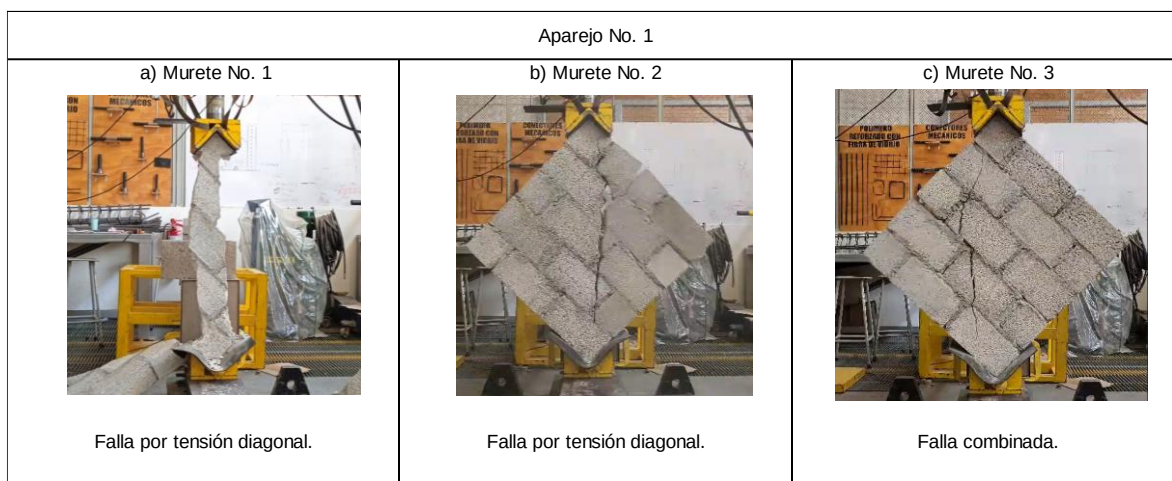


Figura 31 Tipo de falla presentadas en aparejo 1 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 31 se presentan los tipos de fallas que se presentaron durante la ejecución de los ensayos, como se puede observar la falla predominante fue por tensión diagonal, presentándose dos veces en el murete 1 y 2, mientras que en el murete 3 se presentó una falla combinada.

III.2.2.- Aparejo 2

En la Tabla 16 se presentan los resultados obtenidos del ensaye de resistencia a compresión diagonal para el aparejo 2, siendo el valor más alto de resistencia de 7.89 kgf/cm², así mismo también se obtuvo un coeficiente de variación calculado partir de los resultados de los ensayos siendo este de 0.10.

Tabla 16 Resistencia a compresión diagonal aparejo2 (Autoría propia, 2024)

	Área	Carga	v_m	$\overline{v_m}$	c_v	v_m^*
	cm ²	kgf	kgf/cm ²	kgf/cm ²		kgf/cm ²
Murete 1	1,331.25	8,550	6.42	7.12	0.10	5.65
Murete 2	1,330.00	9,360	7.04			
Murete 3	1,307.03	10,310	7.89			

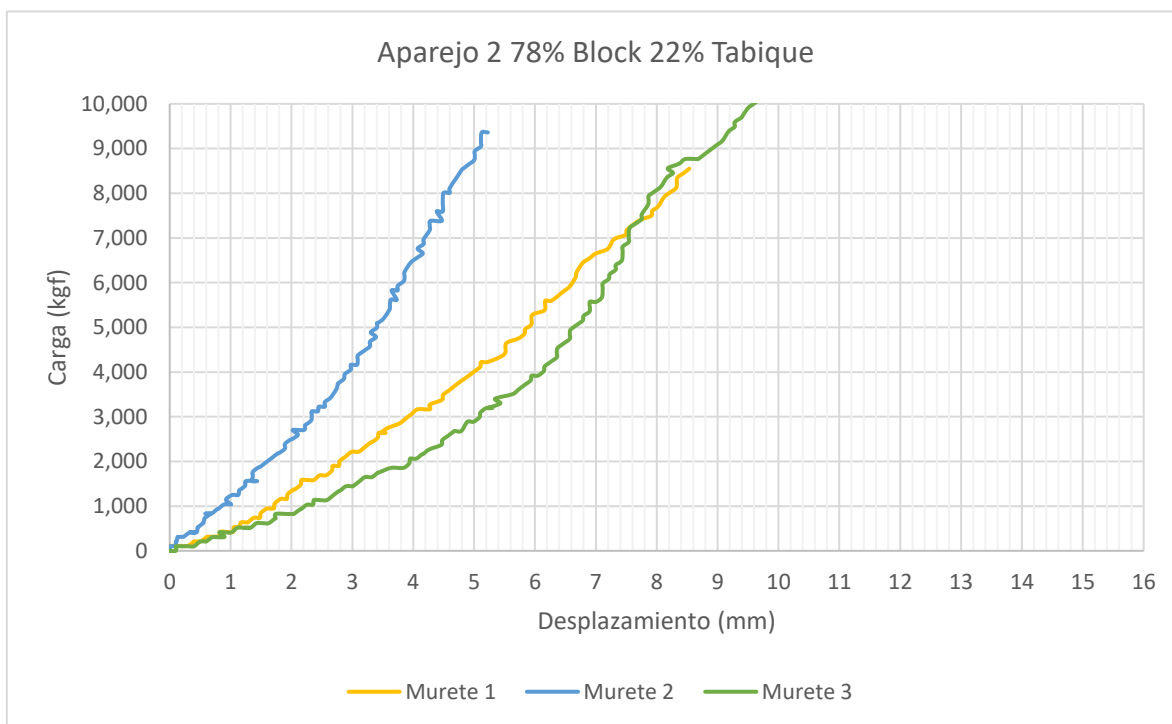


Figura 32 Relación Carga-Desplazamiento Aparejo 2 (Autoría propia, 2024)

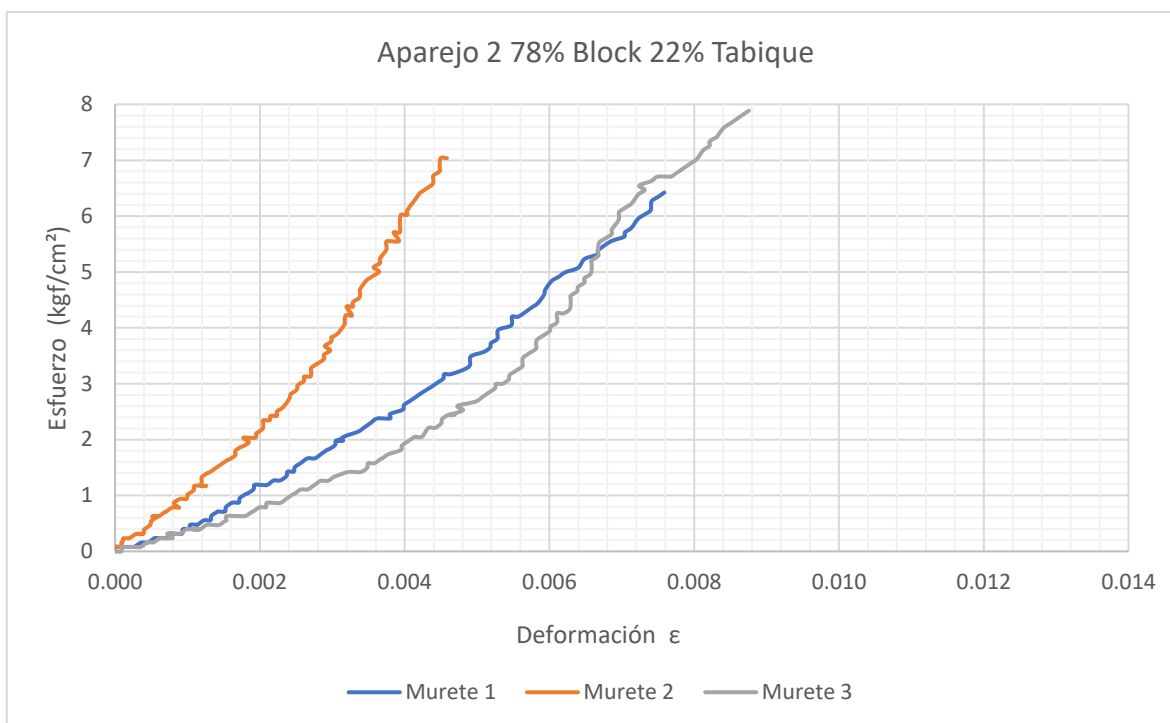


Figura 33 Relación Esfuerzo-Deformación Aparejo 2 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 32 se presentan la relación Carga -Desplazamiento del aparejo 2, donde se puede observar que el murete 1 y 3 tiene similar comportamiento, mientras que el murete 2 tiene menor desplazamiento, pero se encuentra en un rango de carga cercano con los otros muretes, por lo que se tomaron en cuenta los 3 comportamientos para realizar un promedio.

En la Figura 33 se presenta la relación Esfuerzo – Deformación del aparejo 2, a partir del cual se obtuvo el módulo de cortante, que se presenta en la Tabla 17, se tiene un valor promedio del módulo de cortante de 935.50 kgf/cm² y un coeficiente de variación de 0.49, el cual es una variación bastante grande entre los resultados obtenidos.

Tabla 17 Módulo de cortante aparejo 2 (Autoría propia, 2024)

		G_m	$\overline{G_m}$	c_v
		kgf/cm ²	kgf/cm ²	
Aparejo 2	Murete 1	779.93	935.50	0.49
	Murete 2	1,447.51		
	Murete 3	579.05		

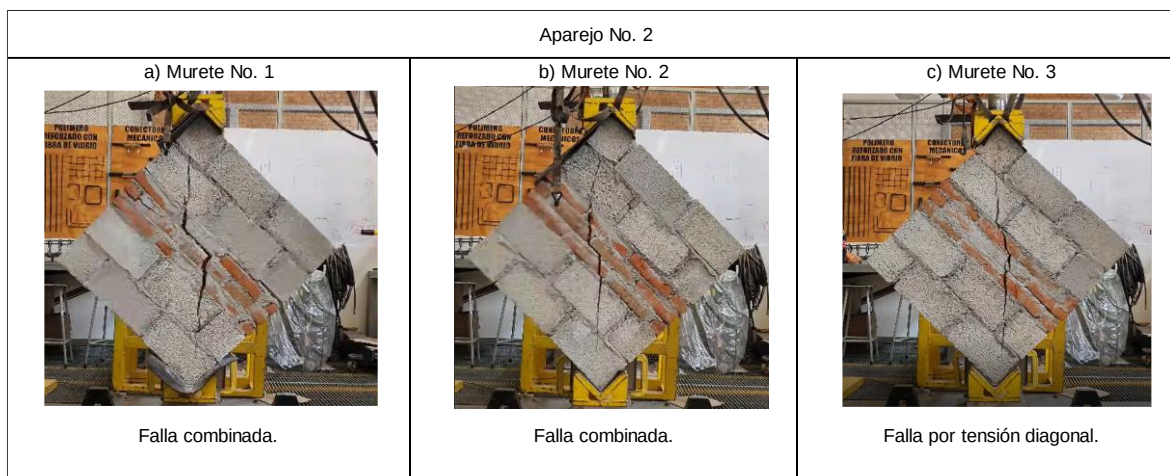


Figura 34 Tipo de falla presentadas en aparejo 2 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 34 se observan las fallas que se presentaron para cada murete, en este caso la falla predominante fue combinada, la cual se presentó en el murete 1 y murete 2, en donde las fallas se ven bastante similares teniendo una tendencia a una falla por tensión diagonal pero habiendo una separación de piezas por adherencia en las piezas de tabique, mientras que en el caso del murete 3 se presentó una falla por tensión diagonal, donde la fisura atraviesa las piezas de block y tabique indistintamente.

III.2.3.- Aparejo 3

En la Tabla 18 se presentan los resultados obtenidos del ensaye de resistencia a compresión diagonal para el aparejo 3, siendo la resistencia más grande 6.39 kgf/cm², con un coeficiente de variación de 0.20 y un esfuerzo promedio de 5.21 kgf/cm².

Tabla 18 Resistencia a compresión diagonal aparejo 3 (Autoría propia, 2024)

	Área	Carga	v_m	$\overline{v_m}$	c_v	v_m^*
	cm ²	kgf	kgf/cm ²	kgf/cm ²		kgf/cm ²
Murete 1	1,303.33	8,330	6.39	5.21	0.20	3.48
Murete 2	1,380.00	6,640	4.81			
Murete 3	1,334.00	5,920	4.44			

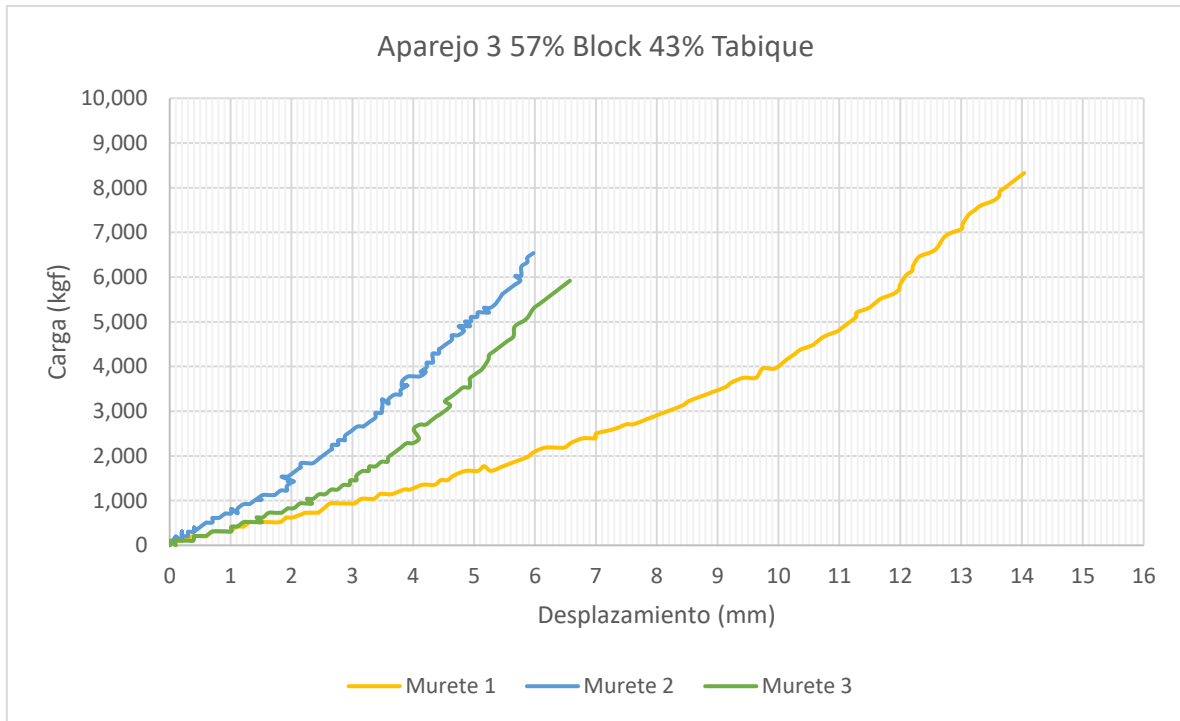


Figura 35 Relación Carga-Desplazamiento Aparejo 3 (Autoría propia, 2024)

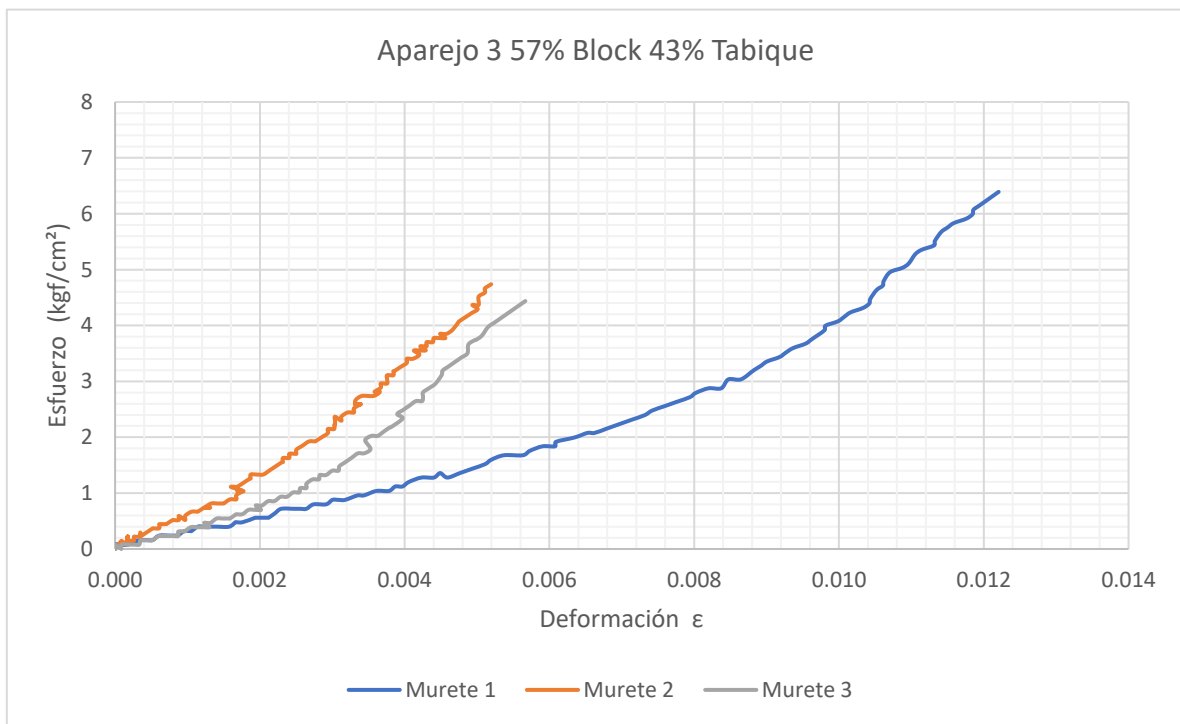


Figura 36 Relación Esfuerzo-Deformación Aparejo 3 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 35 se presenta la relación Carga – Desplazamiento de los muretes del aparejo 3, se puede observar que la línea perteneciente al murete 1 es diferente a las líneas pertenecientes al murete 2 y 3, motivo por el cual para tener una línea promedio representativa solo se promediaron las líneas del murete 2 y 3, esto no quiere decir que se omitirán los valores obtenidos de carga.

La Figura 36 se presenta la relación Esfuerzo – Deformación para el aparejo 3, a partir de la cual se obtuvieron los valores correspondientes al módulo de cortante que se presentan la Tabla 19, en la cual el valor promedio de módulo de cortante es de 663.72 kgf/cm², mientras tiene un coeficiente de variación de 0.37 el cual es alto y da a entender que hay una variación grande entre los resultados obtenidos.

Tabla 19 Módulo de cortante aparejo 3 (Autoría propia, 2024)

		G_m	$\overline{G_m}$	c_v
		kgf/cm ²	kgf/cm ²	
Aparejo 3	Murete 1	378.06	663.72	0.37
	Murete 2	799.53		
	Murete 3	813.58		

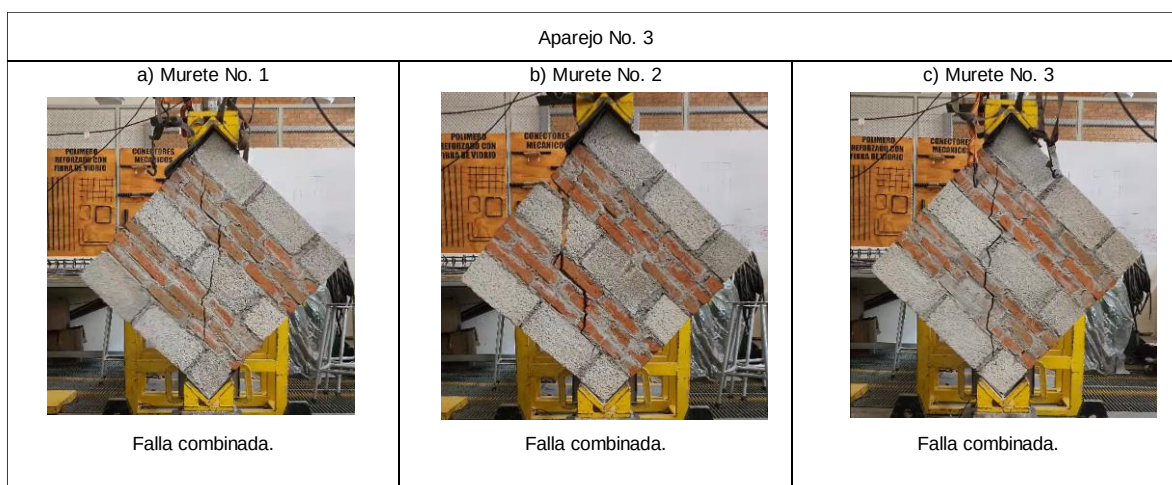


Figura 37 Tipo de falla presentadas en aparejo 3 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 37 se presentan los tipos de fallas que se presentaron durante el ensaye de los muretes, se observa que la falla presentada en los tres muretes es la falla combinada, en la falla del murete 1 se observa que la separación de la junta se produjo en la zona del tabique,

mientras que en el caso del murete 2 y murete 3 la separación de la junta se produjo en la zona del block y tabique.

III.2.4.- Aparejo 4

En la Tabla 20 se presentan los resultados obtenidos del ensaye de los muretes correspondientes al aparejo 4, donde se observa que la resistencia mayor es de 4.96 kgf/cm² y una resistencia promedio de 3.69 kgf/cm², con un coeficiente de variación de 0.32 que da a entender que existe una variación alta entre los resultados de resistencia.

Tabla 20 Resistencia a compresión diagonal aparejo 4 (Autoría propia, 2024)

	Área	Carga	v_m	$\overline{v_m}$	c_v	v_m^*
	cm ²	kgf	kgf/cm ²	kgf/cm ²		kgf/cm ²
Murete 1	1,299.50	6,440	4.96	3.69	0.32	2.06
Murete 2	1,324.38	4,570	3.45			
Murete 3	1,311.34	3,480	2.65			

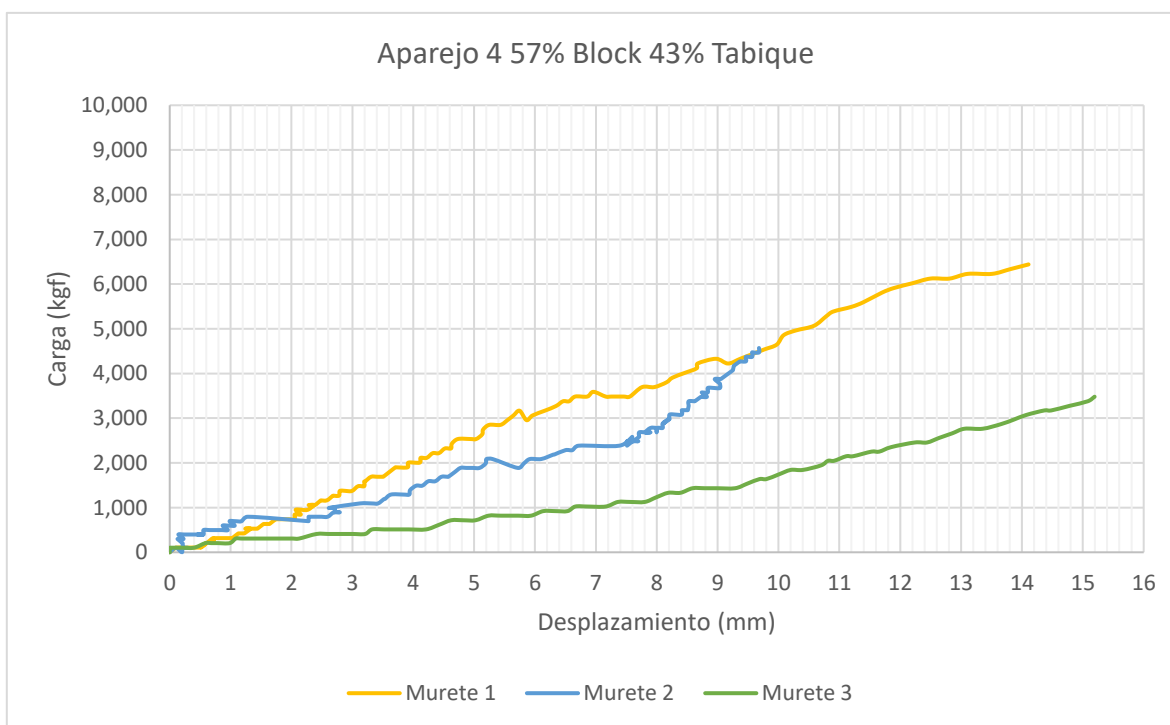


Figura 38 Relación Carga-Desplazamiento Aparejo 4 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 38 se presenta la relación Carga – Desplazamiento de los muretes del aparejo 4, se observa que la relación del murete 1 y murete 3 son muy similares en comportamiento,

pero con diferentes valores a diferencia de la relación del murete 2, la cual al principio lleva un comportamiento casi similar pero posteriormente cambia, pero estando dentro del rango de las otras relaciones. Tomando en cuenta lo anterior se decidió que para obtener el promedio se utilizaran las tres relaciones.

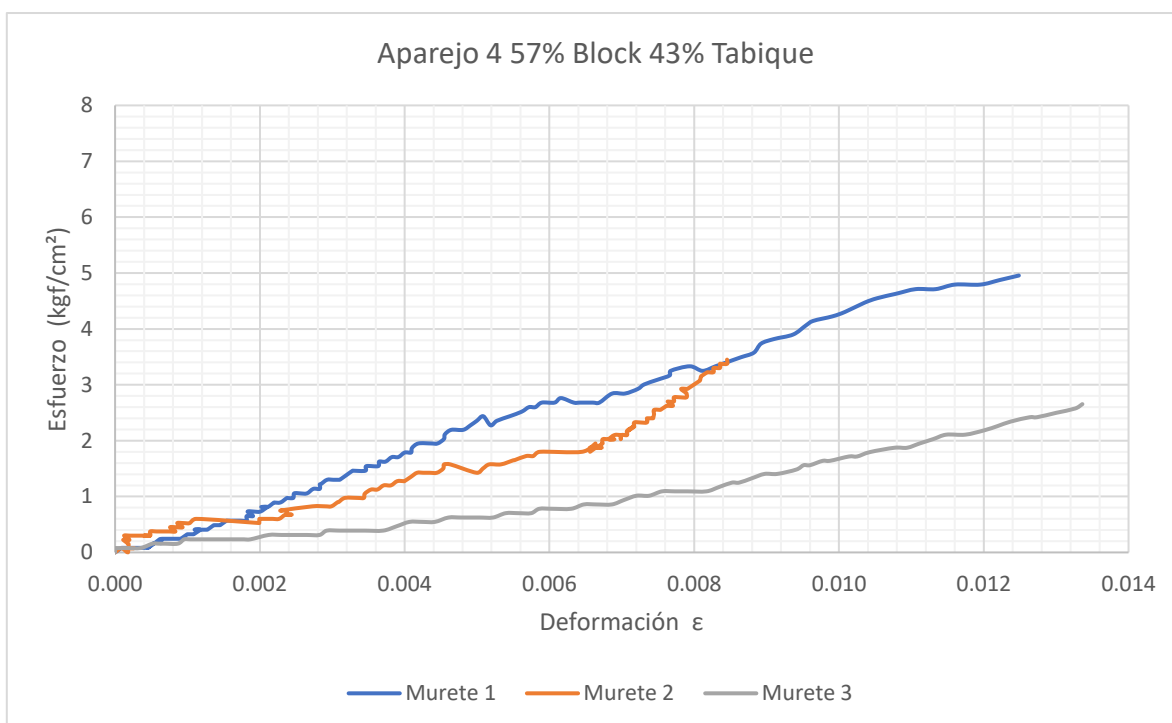


Figura 39 Relación Esfuerzo-Deformación Aparejo 4 (Autoría propia, 2024)

La Figura 39 muestra la relación Esfuerzo – Deformación correspondiente al aparejo 4, a partir de la cual se obtuvo los valores de módulo de cortante, que se presentan en la Tabla 21, donde se tiene un coeficiente de variación grande siendo este de 0.50, mientras el valor máximo de cortante es de 411.98 kgf/cm² y un valor promedio de 266.48 kgf/cm².

Tabla 21 Módulo de cortante de aparejo 4 (Autoría propia, 2024)

		G_m	$\overline{G_m}$	c_v
		kgf/cm²	kgf/cm²	
Aparejo 4	Murete 1	411.98	266.48	0.50
	Murete 2	237.17		
	Murete 3	150.30		

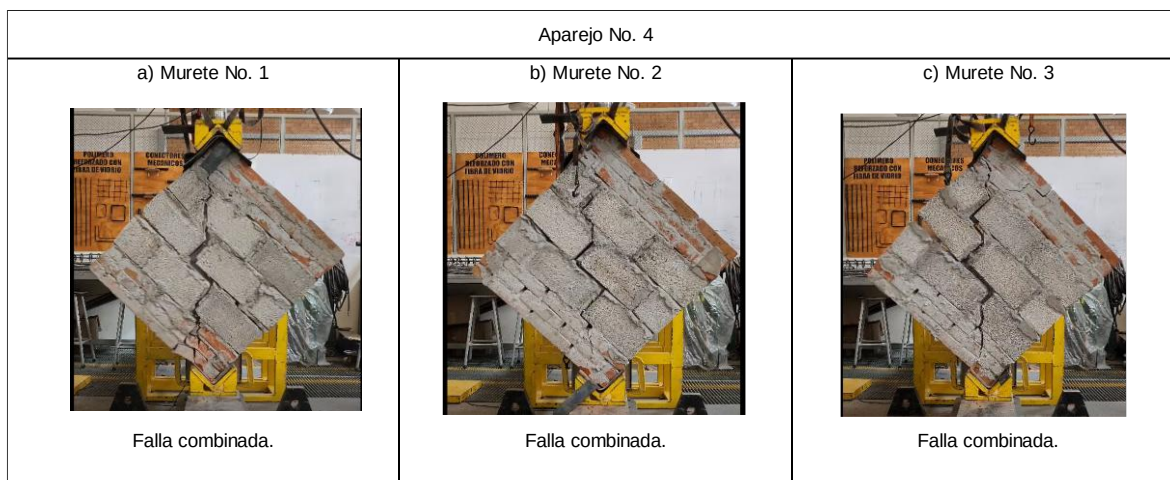


Figura 40 Tipo de falla presentada en aparejo 4 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 40 se observan las fallas presentadas en los muretes, la falla que se presentó en los tres casos fue una falla combinada con mayor tendencia a una falla a cortante, no se clasifico de esta manera debido a que en algunas zonas la fisura atravesaba las piezas, en los muretes 1 y 3 se observa en una pieza de block y en las piezas de tabique, mientras en el murete 2 se presenta en la zona de las piezas de tabique, que es donde se concentra los esfuerzos.

III.2.5.- Aparejo 5

En la Tabla 22 se presentan los resultados obtenidos del ensaye de los muretes correspondientes al aparejo 5, se observa una resistencia máxima de 5.53 kgf/cm² con un promedio de 5.13 kgf/cm² y un coeficiente de variación de 0.11, esto últimos indica que no existe una variación grande entre los valores obtenidos de los ensayes.

Tabla 22 Resistencia a compresión diagonal aparejo 5 (Autoría propia, 2024)

	Área	Carga	v_m	$\overline{v_m}$	c_v	v_m^*
	cm ²	kgf	kgf/cm ²	kgf/cm ²		kgf/cm ²
Murete 1	1,354.92	7,270	5.37	5.13	0.11	4.04
Murete 2	1,368.00	7,560	5.53			
Murete 3	1,355.20	6,090	4.49			

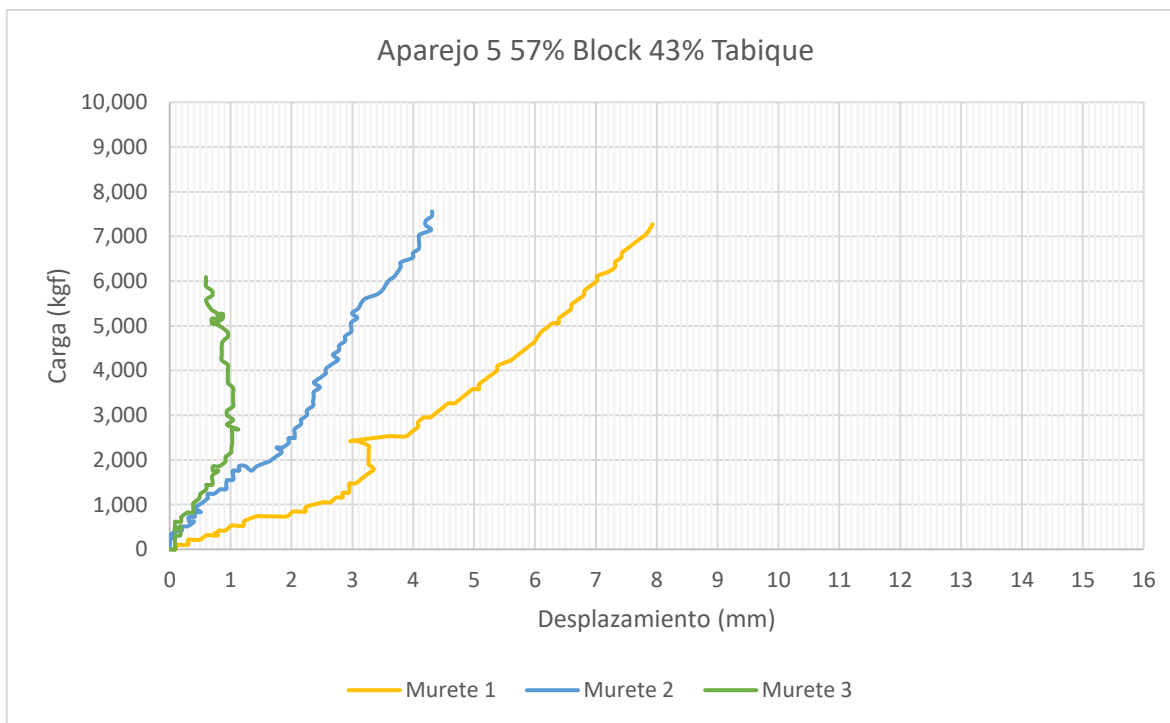


Figura 41 Relación Carga-Desplazamiento Aparejo 5 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 41 se presenta la relación Carga – Desplazamiento de los muretes del aparejo 5, se observa que la línea perteneciente al murete 3 tiene una verticalidad muy pronunciada y después de las 4 toneladas el desplazamiento comienza a ir en sentido contrario, esto se debe que durante el ensaye del murete este comenzó a inclinarse, motivo por el cual el transductor comenzó a registrar un desplazamiento negativo y como se presenta en la Figura 43 este terminó por voltearse completamente, esto se debió a una inclinación del murete debido al proceso constructivo, sin embargo, el valor obtenido de carga máxima registrada se utilizó para su análisis ya que no se encuentra demasiado lejos de las cargas que se registraron para los muretes ensayados posteriormente y tener un parámetro comparativo con los otros dos muretes, motivo por el cual esta línea se desprecia para realizar un promedio ya que no tuvo el comportamiento esperado, para el caso del comportamiento correspondiente al murete 1 y al murete 3, si bien se observa que estas son diferentes en cuanto a rangos de desplazamiento no es así en los rangos de carga, y tuvieron un comportamiento esperado, motivo por el cual estas fueron los comportamientos que se promediaron.

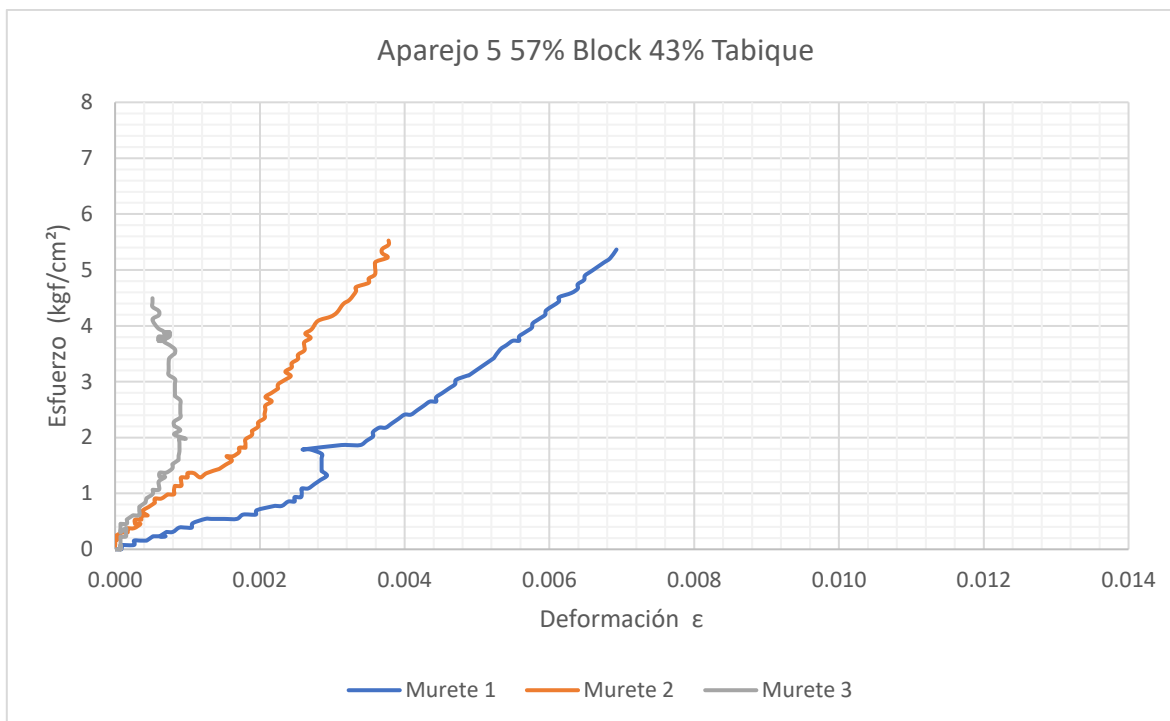


Figura 42 Relación Esfuerzo--Deformación Aparejo 5 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 42 se presenta al grafica Esfuerzo – Deformación de correspondiente al aparejo 5, a partir de la cual se obtuvieron los valores de módulo de cortante, la línea correspondiente al murete 3 no se tomó en cuenta para obtener el valor del módulo de cortante debido a las razones mencionadas en el párrafo anterior. En la Tabla 23 se presentan los resultados obtenidos de módulo de cortante para el caso del murete 1 y murete 2, el valor obtenido para el murete 1 es casi la mitad del murete 2, motivo por el cual se da como resultado un coeficiente de variación de 0.43 y un módulo de cortante promedio de 1,225.98 kgf/cm².

Tabla 23 Módulo de cortante en aparejo 5 (Autoría propia, 2024)

		G_m	$\overline{G_m}$	c_v
		kgf/cm ²	kgf/cm ²	
Aparejo 5	Murete 1	855.03	1,225.98	0.43
	Murete 2	1,596.93		

En la Figura 43 se observan las fallas presentadas durante el ensaye de los muretes, en el caso del murete 1 y murete 2 se observan fallas combinadas, pero hay que observar que los mecanismos de falla que dieron origen a esto no son iguales, para el murete 1 tiene una tendencia más a una falla por tensión diagonal y en la parte superior se encuentra la

separación de la pieza por junta, para el murete 2 es lo contrario tiene una tendencia a falla por cortante, incluso se puede observar que la pieza de block tuvo una falla por tensión de la pieza, donde la fisura por tensión se presenta en la parte inferior del murete. Para el murete 3 y como se explicó en un párrafo anterior este comenzó a tener una pequeña inclinación durante la prueba y al continuar aplicando carga termino por voltearse completamente, motivo por el cual no se pudo observar algún tipo de falla esperada, sin embargo, como de igual manera se mencionó con anterioridad el valor de la carga máxima se tomó en cuenta para la obtención de la resistencia.

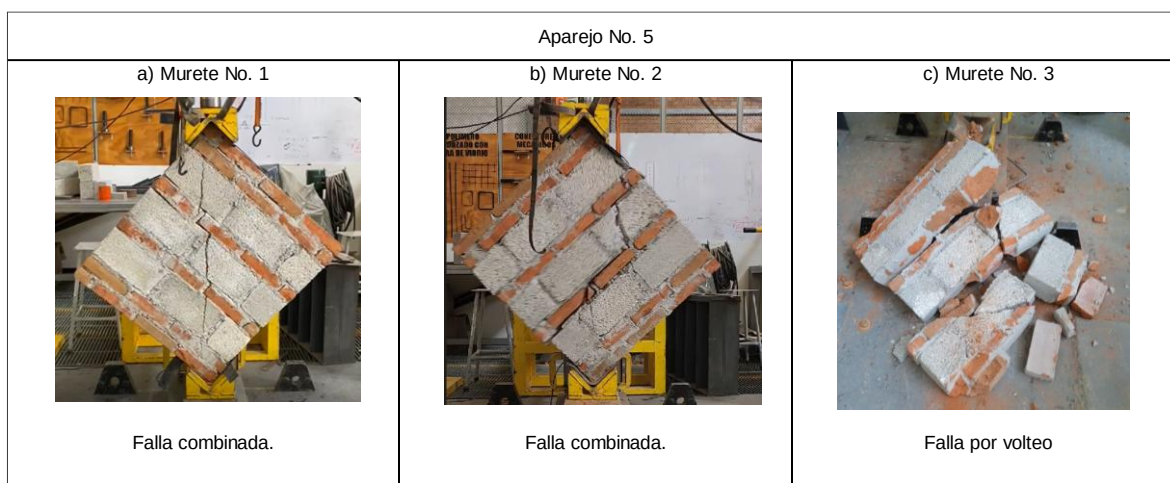


Figura 43 Tipo de falla presentada en aparejo 5 (Autoría propia, 2024)

III.2.6.- Aparejo 6

En la Tabla 24 se presentan los resultados de resistencia a compresión diagonal obtenidos para el caso del aparejo 6, se observa que el valor máximo de resistencia es de 5.21 kgf/cm², con un promedio de 4.25 kgf/cm² y un coeficiente de variación igual al 0.20.

Tabla 24 Resistencia a compresión diagonal aparejo 6 (Autoría propia, 2024)

	Área	Carga	v_m	$\overline{v_m}$	c_v	v_m^*
	cm ²	kgf	kgf/cm ²	kgf/cm ²		kgf/cm ²
Murete 1	1,333.80	5,030	3.97	4.25	0.20	2.82
Murete 2	1,352.80	7,050	5.21			
Murete 3	1,292.85	4,600	3.56			

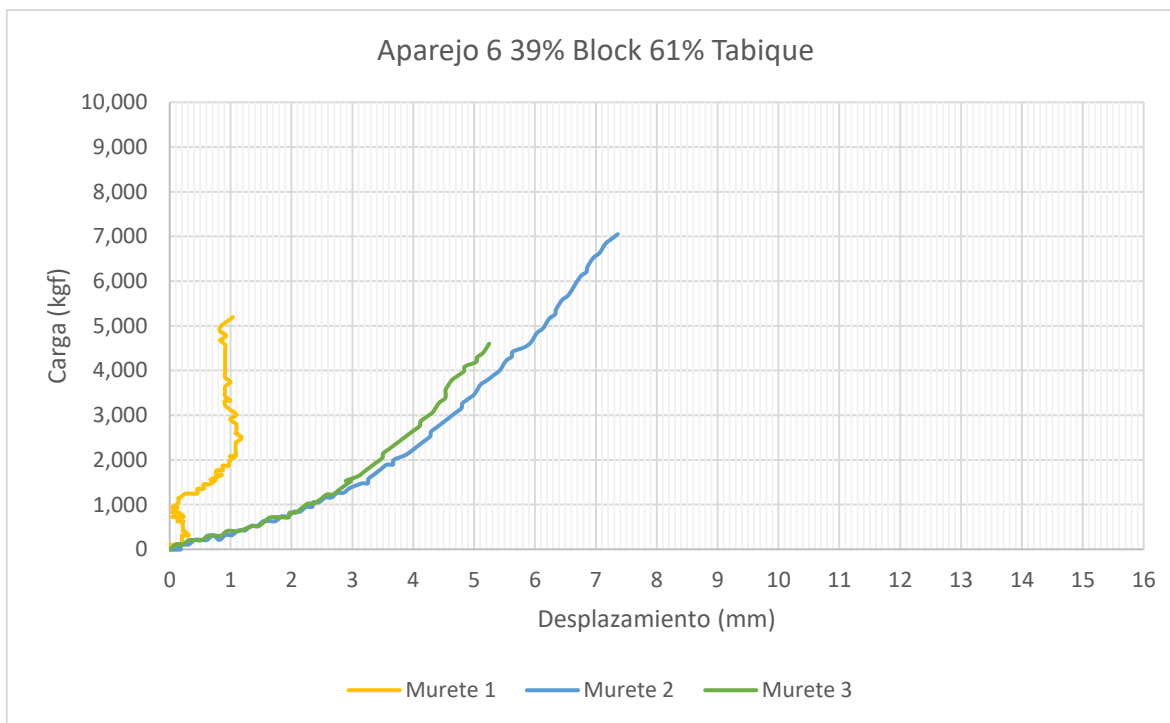


Figura 44 Relación Carga-Desplazamiento Aparejo 6 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 44 se presenta la relación Carga – Desplazamiento de los muretes del aparejo 6, se observa que los comportamientos correspondientes al murete 2 y murete 3 son bastante similares, donde hasta el rango de 3 mm de desplazamiento están sobrepuestas y a partir de ahí comienza a divergir, donde la relación del murete 2 tiene un mayor rango de desplazamiento y carga, mientras la relación del murete 3 tiene un menor desplazamiento y carga, pero teniendo comportamientos casi similares. Para el caso de la relación del murete 1 sucedió un caso similar al del murete 3 del aparejo 5 donde el murete comenzó a tener una inclinación, sin embargo, alrededor de las 3 toneladas el murete se estabilizó y no continuó inclinándose, esto permitió que el murete fallará de una forma adecuada como se muestra en la Figura 46, no obstante el comportamiento esperado no se presentó, motivo por el cual la línea del murete 1 no se tomó en cuenta obtener el promedio de los ensayos.

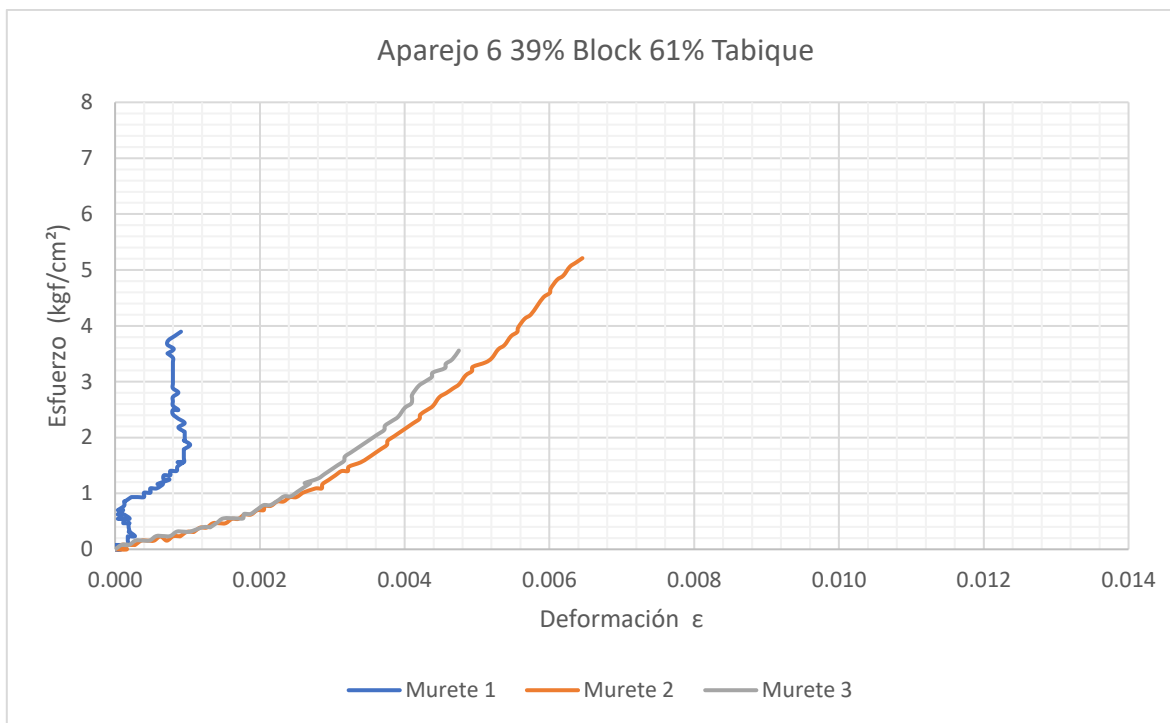


Figura 45 Relación Esfuerzo-Deformación Aparejo 6 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 45 se presenta la relación Esfuerzo – Deformación correspondiente al aparejo 6, a partir de la cual se obtuvieron los valores de módulo de cortante, la línea correspondiente al murete 1 no se tomó en cuenta para obtener el valor del módulo de cortante debido a las razones mencionadas en el párrafo anterior. En Tabla 25 se presentan los resultados obtenidos de módulo de cortante para el caso del murete 2 y 3 obteniendo un promedio de 398.31 kgf/cm², obteniendo un coeficiente de variación de 0.03 esto da a entender que los valores calculados se encuentran cerca entre sí.

Tabla 25 Módulo de cortante aparejo 6 (Autoría propia, 2024)

		G_m	$\overline{G_m}$	c_v
		kgf/cm ²	kgf/cm ²	
Aparejo 6	Murete 2	391.26	398.31	0.03
	Murete 3	398.31		

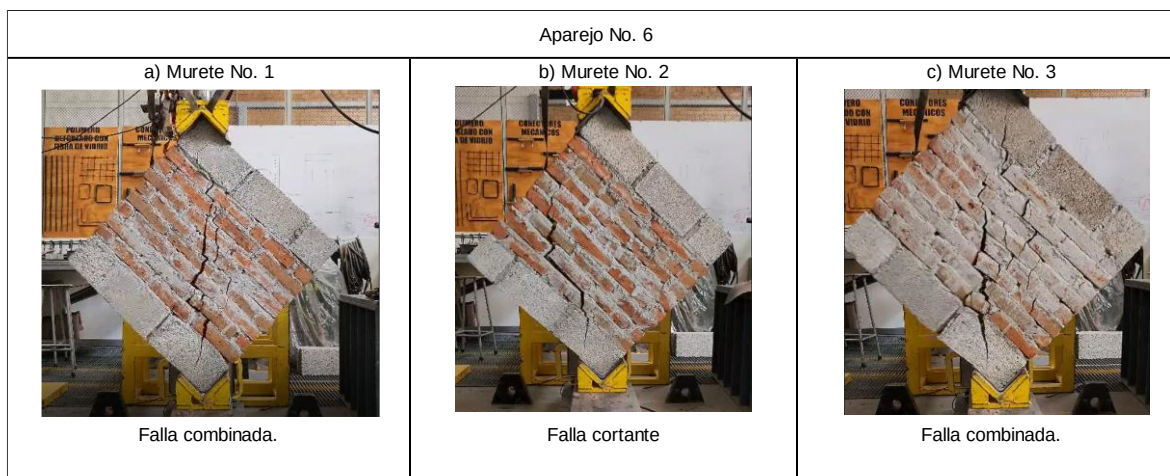


Figura 46 Tipo de falla presentada en aparejo 6 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 46 se observan las fallas presentadas durante el ensaye de los muretes correspondientes al aparejo 6, la falla predominante para este caso es una falla combinada la cual se encuentra en el murete 1 y murete 3, donde tiene una tendencia hacia una falla en tensión diagonal pero en algunas zonas hubo separación de las piezas o falla de la pieza por tensión, mientras que en el caso del murete 2 se observa una falla por cortante la cual solo se presenta en la zona del núcleo de tabique, habiendo separación de las piezas por adherencia del mortero y tensión en las piezas de tabique.

III.2.7.- Aparejo 7

En la Tabla 26 se presentan los resultados de la resistencia compresión diagonal de los muretes correspondientes al aparejo 7, se tiene un valor máximo de 4.78 kgf/cm² y un promedio de 3.94 kgf/cm², con un coeficiente de variación de 0.28, lo cual no indica una gran diferencia entre los valores obtenidos.

Tabla 26 Resistencia a compresión diagonal aparejo 7 (Autoría propia, 2024)

	Área	Carga	v_m	$\overline{v_m}$	c_v	v_m^*
	cm ²	kgf	kgf/cm ²	kgf/cm ²		kgf/cm ²
Murete 1	1,318.60	5,690	4.32	3.94	0.28	2.33
Murete 2	1,337.60	6,400	4.78			
Murete 3	1,468.35	3,990	2.72			

En la Figura 47 se presenta la relación Carga-Desplazamiento del ensaye de los muretes del aparejo 7, donde se observa que los comportamientos correspondientes al murete 1 y murete 2 son bastante similares, en donde al inicio de ambos casos las líneas llevan la misma tendencia llegando a un punto donde estas divergen, siendo este punto a los 1,600 kgf y 2 mm de desplazamiento, adonde el murete 2 alcanzo mayor carga pero menor desplazamiento mientras el murete 1 tuvo menos carga pero mayor desplazamiento, para el caso de la línea del murete 3 tiene el mismo comienzo que las dos anteriores pero esta diverge en los 400 kgf y 8 mm, teniendo una menor carga que los casos anteriores pero mayor desplazamiento, ya que los tres casos se ven comportamientos hasta cierto punto similares se tomarán en cuenta para obtener un promedio.

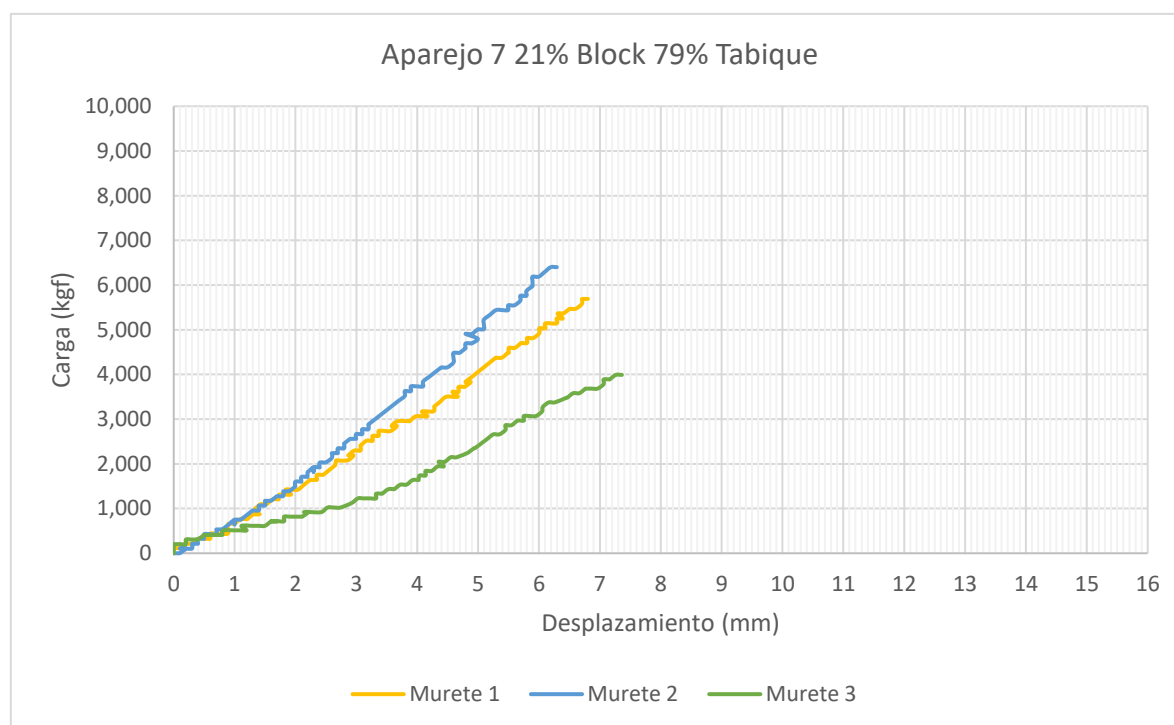


Figura 47 Relación Carga-Desplazamiento Aparejo 7 (Autoría propia, 2024)

La Figura 48 se presenta la relación Esfuerzo – Deformación correspondiente al aparejo 7, a partir del cual se obtuvieron los valores de módulo de cortante. En la Tabla 27 se presentan los valores obtenidos de módulo de cortante, teniendo un valor máximo de 837.27 kgf/cm² y un promedio de 621.10 kgf/cm, con un coeficiente de variación igual a 0.42.

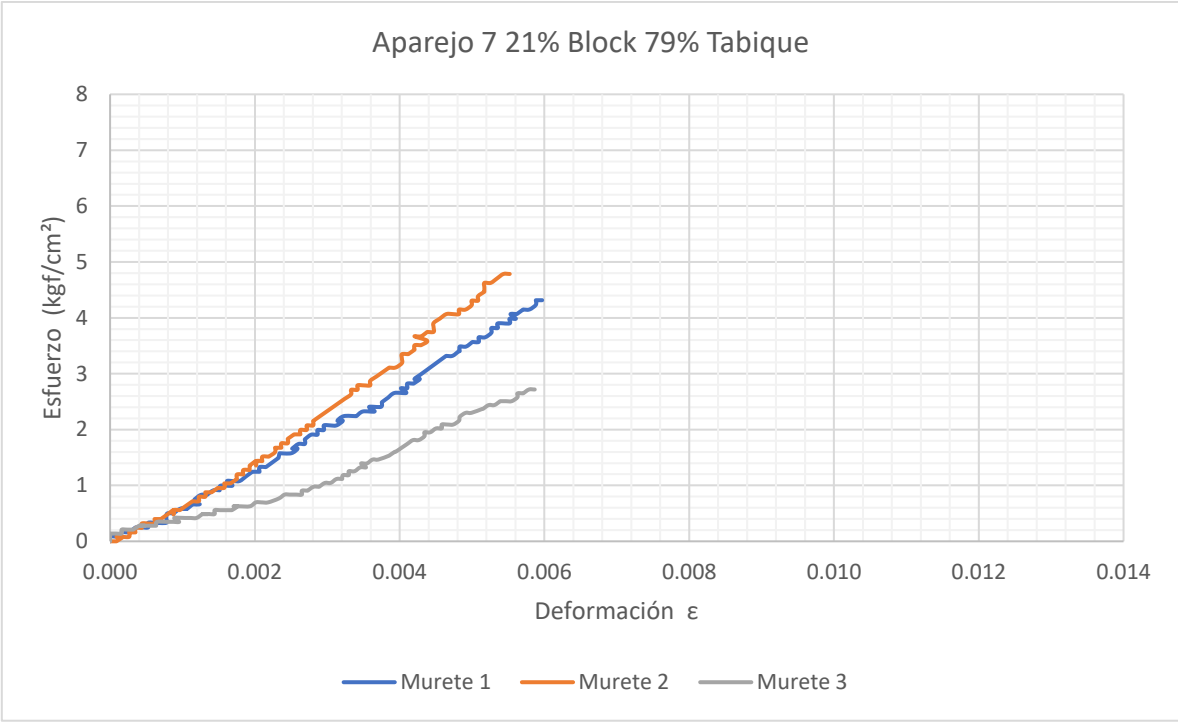


Figura 48 Relación Esfuerzo-Deformación Aparejo 7 (Autoría propia, 2024)

Tabla 27 Módulo de cortante aparejo 7 (Autoría propia, 2024)

		G_m	$\overline{G_m}$	c_v
		kgf/cm ²	kgf/cm ²	
Aparejo 7	Murete 1	707.20	621.10	0.42
	Murete 2	827.27		
	Murete 3	328.82		



Figura 49 Tipo de falla presentada en aparejo 7 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 49 se observa las fallas presentadas en los muretes correspondiente a al aparejo 7, la falla dominante para este caso fue una falla combinada ya que se presentó en los 3 casos. Para los 3 muretes la tendencia a cortante se manifestó en la zona de las piezas de tabique habiendo separación de piezas por adherencia y falla por tensión de piezas, mientras que en el núcleo de block se mostró la fisura por tensión diagonal.

III.2.8.- Aparejo 8

En la Tabla 28 se presentan los resultados de resistencia a compresión diagonal correspondiente al aparejo 8, donde se puede observar que la resistencia máxima es de 4.95 kgf/cm² y un promedio de 4.31 kgf/cm², con un coeficiente de variación de 0.14, que indica que una variación baja entre los resultados obtenidos.

Tabla 28 Resistencia a compresión diagonal aparejo 8 (Autoría propia, 2024)

	Área	Carga	v_m	$\overline{v_m}$	c_v	v_m^*
	cm ²	kgf	kgf/cm ²	kgf/cm ²		kgf/cm ²
Murete 1	1352.40	6,700	4.95	4.31	0.14	3.18
Murete 2	1372.73	5,800	4.23			
Murete 3	1337.33	5000	3.74			

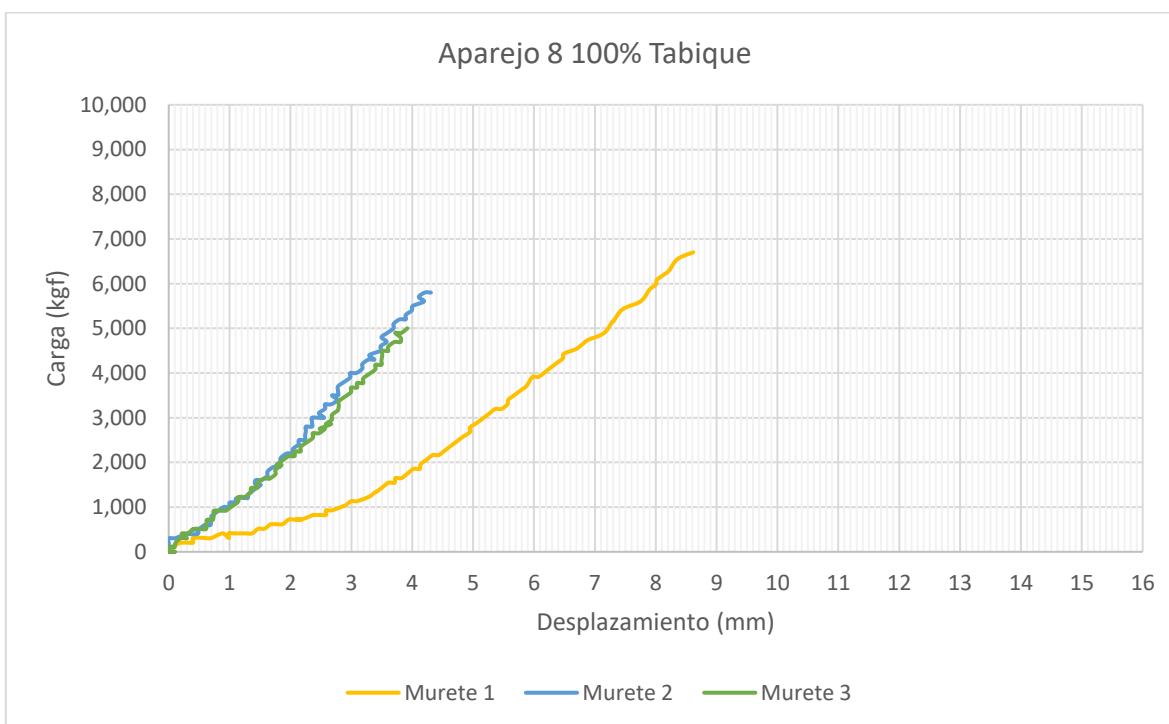


Figura 50 Relación Carga-Desplazamiento Aparejo 8 (Autoría propia, 2024)

La Figura 50 se presenta la relación Carga – Desplazamiento correspondiente al aparejo 8, la relación correspondiente al murete 2 y murete 3 como se observa tienen comportamiento similar a pesar de tener diferente carga y desplazamiento tiene una tendencia semejante, donde se puede incluso creer que la relación del murete 3 es un pedazo de la línea del murete 2, no así el caso de la relación del murete 1 donde su comportamiento es completamente diferente a los otros, esta tiene una carga similar al murete 2 pero con un desplazamiento del doble de los otros casos, motivo por el cual la línea correspondiente al murete 1 no se tomó en cuenta para promediar.

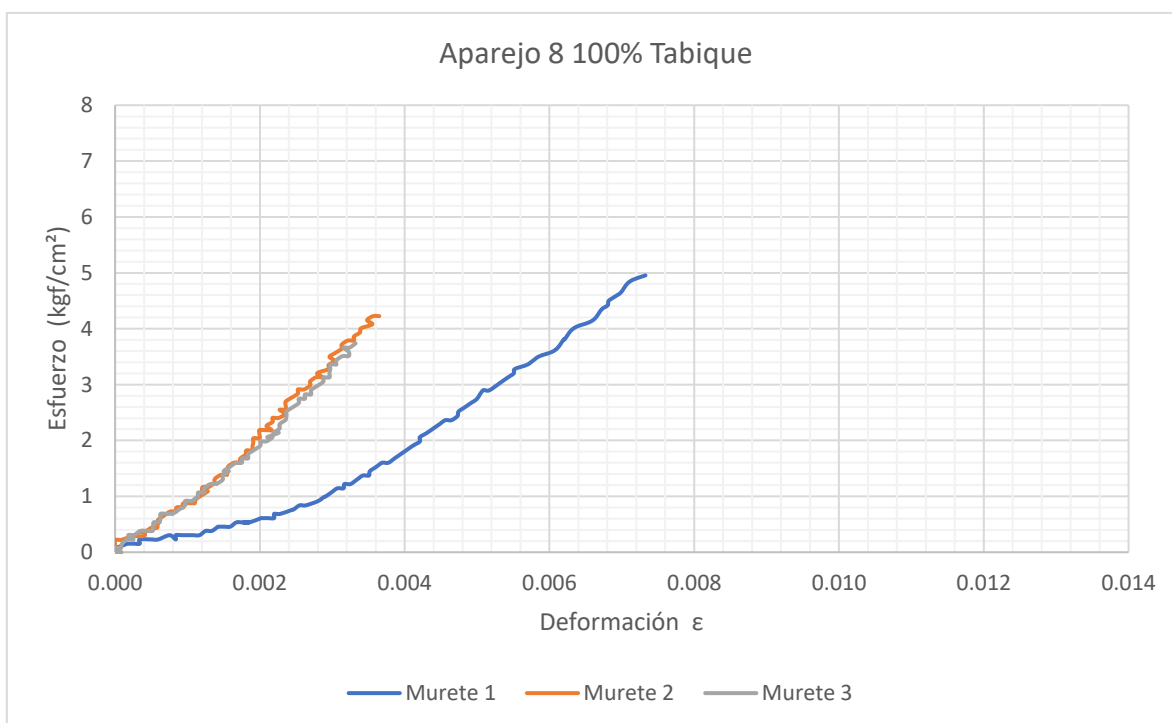


Figura 51 Relación Esfuerzo-Deformación Aparejo 8 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 51 se presenta la relación Esfuerzo – Deformación correspondiente a los muretes del aparejo 8, a partir de la cual se obtendrá el módulo de cortante. Si bien se menciona que la relación correspondiente al murete 1 tiene un comportamiento diferente a los otros, para el caso de obtener el módulo de cortante se tomará en cuenta solo los referentes al murete 2 y 3. En la Tabla 29 se presentan los valores obtenidos del módulo de cortante en donde el valor máximo obtenido es de 1,103.42 kgf/cm² y un promedio de 1,091.74 kgf/cm², con un coeficiente de variación de 0.02, el cual da a entender la cercanía de los resultados.

Tabla 29 Módulo de cortante aparejo 8 (Autoría propia, 2024)

		G_m	$\overline{G_m}$	c_v
		kgf/cm ²	kgf/cm ²	
Aparejo 8	Murete 2	1,103.42	1,091.74	0.02
	Murete 3	1,080.07		

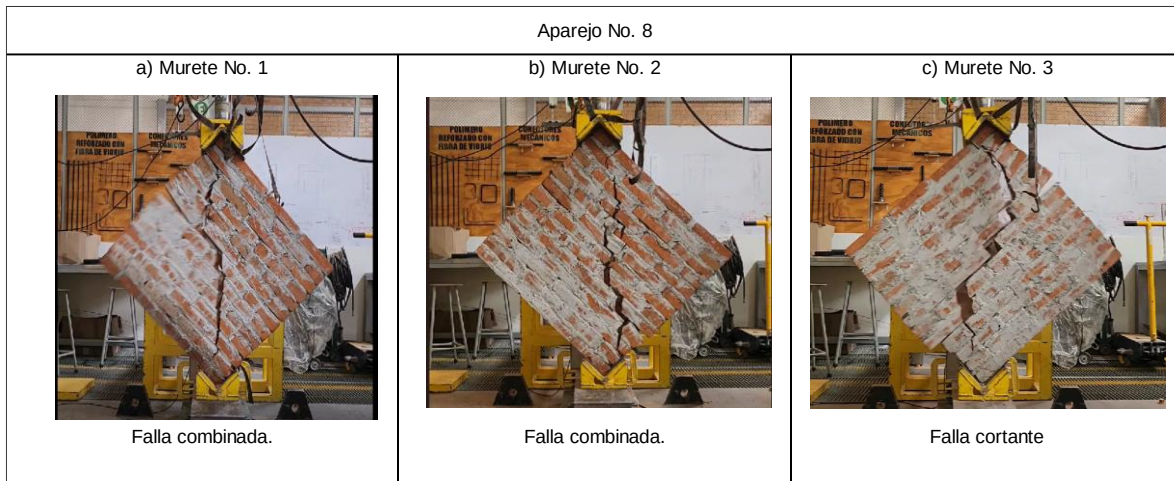


Figura 52 Tipo de falla presentada en aparejo 8 (Autoría propia 2024)

En la Figura 52 se observa las fallas presentadas en los muretes correspondientes al aparejo 8, donde la falla predominante es una falla combinada la cual se presentó en los muretes 1 y 2, mientras que en el murete 3 se presentó una falla por cortante. En el caso del murete 1 y 2 si bien fue una falla combinada la tendencia de la fisura por tensión diagonal, en el murete 1 el deslizamiento de la pieza se presentó en el centro, caso contrario al murete 2 el cual se manifestó en la parte inferior del murete. La falla que representa el murete 3 es por cortante, si bien al principio se cree que es una fisura por tensión diagonal en realidad es por tensión de la pieza para posteriormente desarrollarse por la junta de mortero.

CAPITULO IV.- ENSAYE DE PILAS A COMPRESIÓN

La mampostería está formada por dos materiales que tienen características esfuerzo – deformaciones distintas bajo el efecto de la carga vertical. La pieza y el mortero sufren deformaciones verticales acompañadas de una extensión transversal. La adherencia y la fricción en las caras de contacto entre los materiales impide el deslizamiento relativo y obliga a que los dos tengan una misma deformación transversal intermedia (Meli, 1971).

Para poder obtener un índice de la resistencia a compresión de la mampostería, una pila formada por varias piezas sobrepuestas permite un ensaye simple y representa razonablemente el comportamiento de los elementos de la mampostería. Para poder llevar a cabo el ensaye de las pilas se debe de respetar los lineamientos mencionados en la norma NMX-C-464-ONNCCE-2010, donde la prueba consiste en ensayar pilas aplicando carga vertical, obteniendo deformaciones transversales y obteniendo una carga máxima de resistencia. En el presente capitulo solo se presentarán los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio.

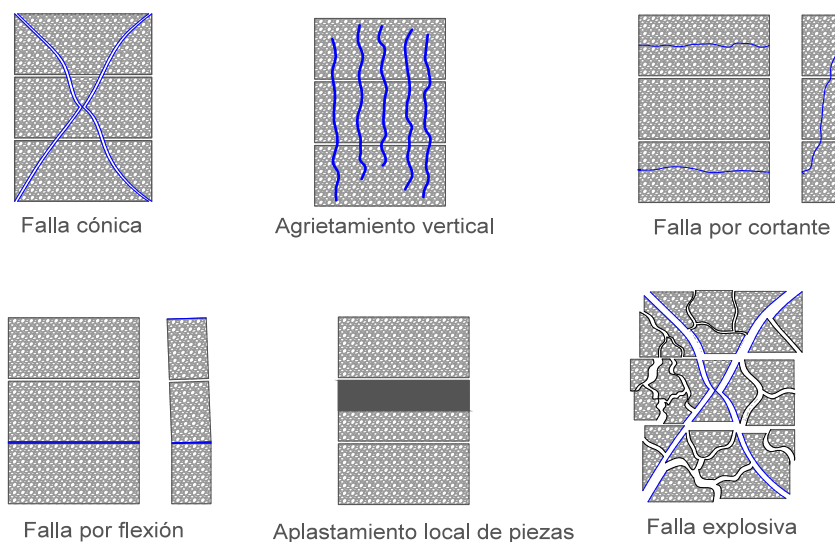


Figura 53 Tipos de fallas de pilas a compresión (ONNCCE, 2010)

En las pilas se pueden apreciar diferentes tipos de fallas (Figura 53), las cuales son: falla por agrietamiento vertical debido a la diferencia de deformabilidad transversal de las piezas y junta de mortero, falla por piramidal o por cortante son análogas a las fallas cónicas de los cilindros de concreto cuando los materiales están bien integrados y no hay diferencia de

deformabilidad transversal, falla por aplastamiento de una pieza ocurre debido a la baja calidad de la pieza, falla por flexión es debido a alguna falla de verticalidad del eje de la probeta, alineación de la placa de carga o por una debilidad en las piezas y/o junta y falla explosiva que se genera cuando las piezas son de alta resistencia y con buena adherencia entre mortero y pieza.

IV.1.- Características de las pilas

Como se menciona en el Capítulo I existen una gran variedad de aparejos que se pueden encontrar, debido a eso en el Capítulo III se decidió realizar ocho aparejos representativos para construir los muretes, sin embargo, para en el caso de las pilas no se puede recrear esos aparejos debido a que al intentar hacerlo no se cumpliría con la relación de esbeltez (Tabla 31) establecida en la NMX-ONNCCE-464-2010 para la elaboración de las probetas. Motivo por el cual se decidió representar cuatro aparejos (Tabla 30 y Figura 54).

Tabla 30 Aparejos para pilas (Autoría propia, 2024)

	% Block	% Tabique
Aparejo 1	100	0
Aparejo 2	61	39
Aparejo 3	29	71
Aparejo 4	0	100

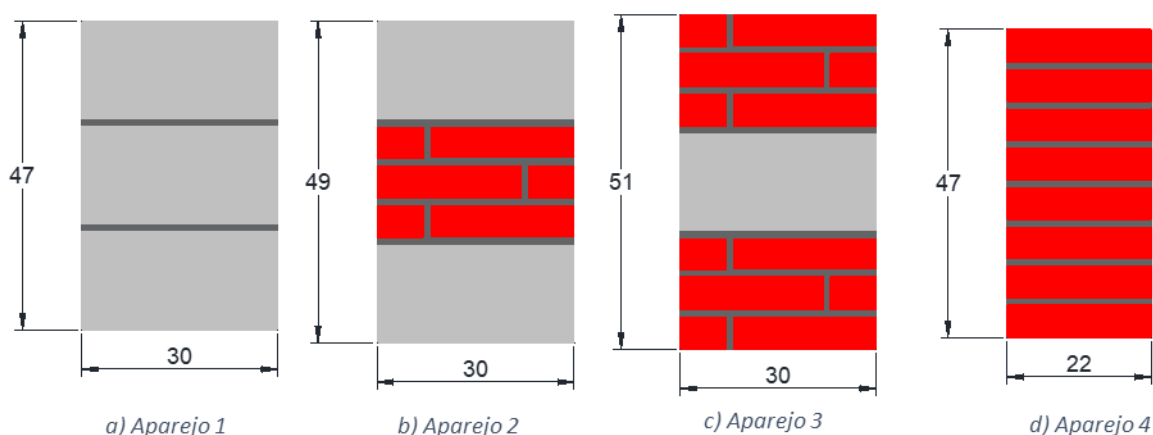


Figura 54 Aparejo de pilas (Autoría propia, 2024)

Las pilas fueron elaboradas dentro de las instalaciones del Laboratorio de FI BUAP. Utilizando el equipo mencionado al principio del CAPITULO II.- MATERIALES QUE COMPONEN LOS MURETES DE MAMPOSTERÍA COMBINADA, siendo este el Marco de Reacción, la bomba y display, el equipo de adquisición de datos (Datalogger) y transductor.

IV.2.- Resistencia a compresión y tipo de falla

La determinación de la resistencia a compresión de la mampostería se debe de realizar en un mínimo de tres pilas del mismo tamaño, construidas con el mismo tipo de piezas, mortero y técnicas en la fabricación (ONNCCE, 2010).

Las pilas se ensayaron sometiéndolas a una carga de compresión sobre el área transversal y el esfuerzo a compresión se determinó dividiendo la carga máxima obtenida entre el área bruta transversal, el valor obtenido se multiplica por un factor correctivo de esbeltez (Tabla 31). Se calcula de conforme la Ecuación 10:

Ecuación 10

$$f_m = \frac{P}{tb} * \text{factor correctivo de esbeltez}$$

Donde:

- f_m es la resistencia compresión (kgf/cm²)
- P es la carga máxima registrada en kgf
- t es el espesor promedio de la pila en cm
- b es el ancho promedio de la pila en cm

Tabla 31 Factores correctivos por esbeltez (ONNCCE, 2010)

Relación de esbeltez de la pila	Factor correctivo
2	0.75
3	0.90
4	1.0
5	1.05
6	1.06

Para poder obtener la resistencia a compresión para fines de diseño se calcula conforme a la Ecuación 11:

Ecuación 11

$$f_m^* = \frac{\overline{f_m}}{1 + 2.5c_m}$$

Donde:

- f_m^* es la resistencia a compresión para fines de diseño (kgf/cm²)
- $\overline{f_m}$ es la media de los esfuerzos resistente de las pilas ensayada (kgf/cm²)
- c_m es el ecoeficiente de variación de los esfuerzos resistentes de las pilas ensayadas, se calcula como el coeficiente de la desviación estándar entre la media, no se debe tomar menor que 0.10, para el caso de verificar el control de calidad en la obra, ni 0.15 en otros casos.

Con ayuda del Datalogger y transductor se obtuvo la relación Carga-Desplazamiento para cada pila ensayada y cada tipo de aparejo. De los datos obtenidos del Datalogger se pudo estimar la relación Esfuerzo – Deformación, al igual que en caso de los muretes esta relación solo es representativa ya que para obtener la relación Esfuerzo – Deformación es necesario instrumentar de manera adecuada otra serie de pilas, para poder generar esta relación se realizó de la siguiente manera, primero se obtuvo la deformación para cada instante con la Ecuación 12:

Ecuación 12

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta_i}{H}$$

Donde

- ε_i es la deformación unitaria en el instante i
- Δ_i es el desplazamiento en el instante i en mm
- H es la altura de la pila en mm

Posteriormente se calcula el esfuerzo correspondiente utilizando la Ecuación 13:

$$f_{mi} = \frac{P_i}{tb} * \text{factor de esbeltez}$$

Donde:

- f_{mi} es el esfuerzo a compresión en el instante i en kgf/cm²
- P_i es la carga en el instante i en kgf
- t es el espesor promedio de la pila en cm
- b es el ancho promedio de la pila en cm

Una vez que se obtiene la relación Esfuerzo – Deformación, se obtiene dos puntos de la relación donde se observa un comportamiento lineal, se puede calcular el módulo de elasticidad utilizando la Ecuación 14.

$$E_m = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Donde:

- E_m es le módulo de elasticidad de la mampostería en kgf/cm²
- σ_1 es el esfuerzo axial correspondiente al punto 1 de la deformación en kgf/cm²
- σ_2 es el esfuerzo axial correspondiente al punto 2 de la carga máxima en kgf/cm²
- ε_1 es la deformación producida por el punto 1
- ε_2 es la deformación producida por el punto 2.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada pila correspondiente a cada tipo de aparejo, así como las fallas presentadas en las pilas.

IV.2.1.- Aparejo 1

En la Tabla 32 se presentan los resultados obtenidos del ensaye de las pilas correspondientes al aparejo 1, donde se presenta el área bruta y la carga máxima, con estos datos se obtuvo la resistencia a compresión para cada pila, el promedio y el coeficiente de variación, este último fue calculado como se explica en el párrafo anterior anteriormente. La resistencia a

compresión máxima es de 46.51 kgf/cm², con un promedio de 37.32 kgf/cm² y un coeficiente de variación de 0.22, que nos indica una variación considerable entre los valores obtenidos.

Tabla 32 Resistencia a compresión aparejo 1 (Autoría propia, 2024)

	Área	Carga	f_m	$\overline{f_m}$	c_m	f_m^*
	cm ²	kgf	kgf/cm ²	kgf/cm ²		kgf/cm ²
Pila 1	349.58	12,190	35.16	37.32	0.22	24.19
Pila 2	351.21	10,600	30.51			
Pila 3	349.20	15,920	46.28			

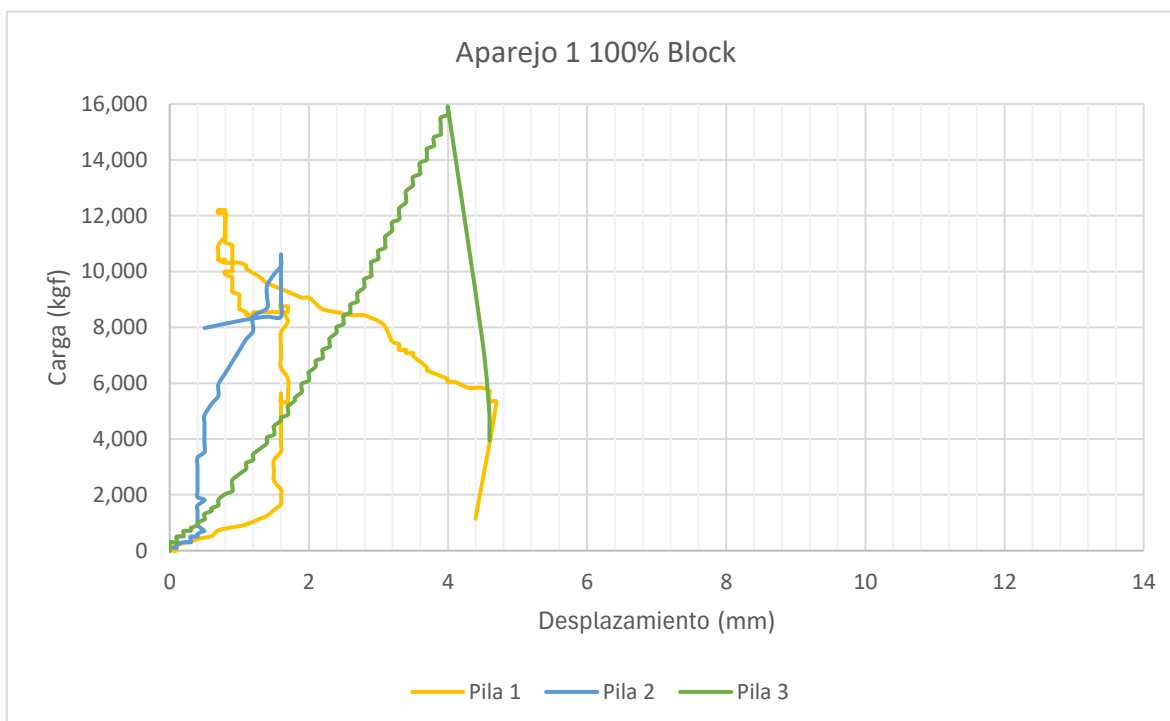


Figura 55 Relación Carga - Desplazamiento aparejo 1 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 55 se presenta la relación Carga – Desplazamiento del aparejo 1, se puede observar que la relación correspondiente a la pila 1 al momento de aumentar la carga el desplazamiento era casi nulo, después de los 3 mil kgf comenzó a aumentar el desplazamiento y después de llegar a la carga máxima comenzó a tener desplazamiento negativo, esto fue debido a que la primea pieza de la pila comenzó a fallar de un lado de su cara (Figura 57) y de la colocación del transductor, este comenzó a levantarse motivo por el cual se registró de esa forma, caso similar se presentó para la pila 2 pero en este caso la falla se presentó en la pieza de en medio, para el caso de la pila 3 tuvo el comportamiento esperado en donde al

aumentar la carga aumentaba el desplazamiento, motivo por el cual se tomara como relación representativa el correspondiente a la pila 3. Cabe mencionar que, aunque el desplazamiento fue mal capturado el valor de la carga estuvo bien registrado, por lo que se utilizó para obtener la resistencia compresión,

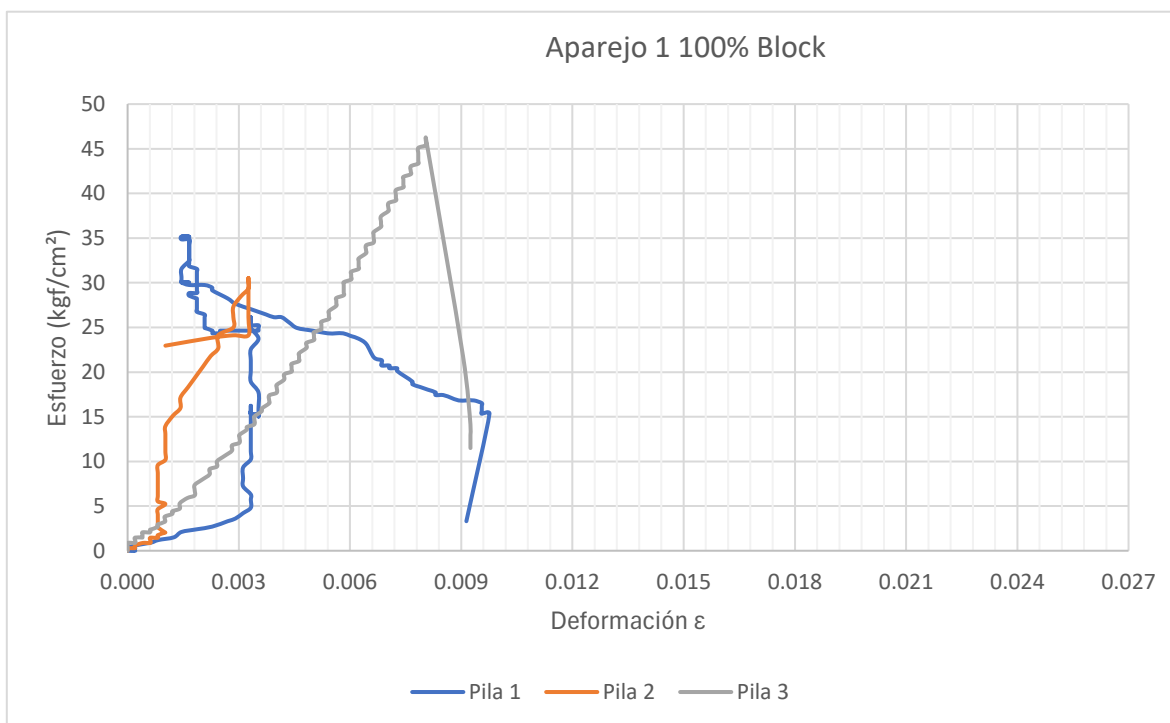


Figura 56 Relación Esfuerzo - Deformación aparejo 1 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 56 se presenta la relación Esfuerzo – Deformación correspondiente a las pilas del aparejo 1, a partir de la cual se calculó el módulo de elasticidad, pero para este caso solo se tomó en cuenta la línea de la pila 3, esto por lo descrito en párrafos anteriores. El resultado obtenido se presenta en Tabla 33, no existe un coeficiente de variación para este aparejo ya que no hay otro dato con cual comparar.

Tabla 33 Módulo de elasticidad aparejo 1 (Autoría propia, 2024)

		E_m	$\overline{E_m}$	c_m
		kgf/cm ²	kgf/cm ²	
Aparejo 1	Pila 3	5,469.98	5,469.98	-



Figura 57 Tipos de fallas presentadas aparejo 1 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 57 se muestran las fallas que se presentaron en las pilas correspondientes al aparejo 1. Para los tres casos la falla presentada en una falla local por aplastamiento de pieza, para el caso de la pila 1 la falla se presentó en la primera pieza de arriba hacia abajo, para el caso de la pila 2 se presentó en la pieza de en medio y se aprecia que solo en esa pieza hay fisuras, para el caso de la pila 3 también se presentó en la primera pieza de arriba hacia abajo.

IV.2.2.- Aparejo 2

En la Tabla 34 se presenta los resultados de resistencia a compresión del ensaye de las pilas correspondientes al aparejo 2, donde se observa una resistencia máxima de 47.71 kgf/cm² y un promedio de 44.07 kgf/cm², con un coeficiente de variación de 0.10 siendo un coeficiente relativamente bajo.

Tabla 34 Resistencia a compresión aparejo 2 (Autoría propia, 2024)

	Área	Carga	f_m	$\overline{f_m}$	c_m	f_m^*
	cm ²	kgf	kgf/cm ²	kgf/cm ²		kgf/cm ²
Pila 1	352.15	15,840	45.65	44.07	0.10	34.91
Pila 2	352.41	13,420	38.87			
Pila 3	355.48	16,690	47.71			

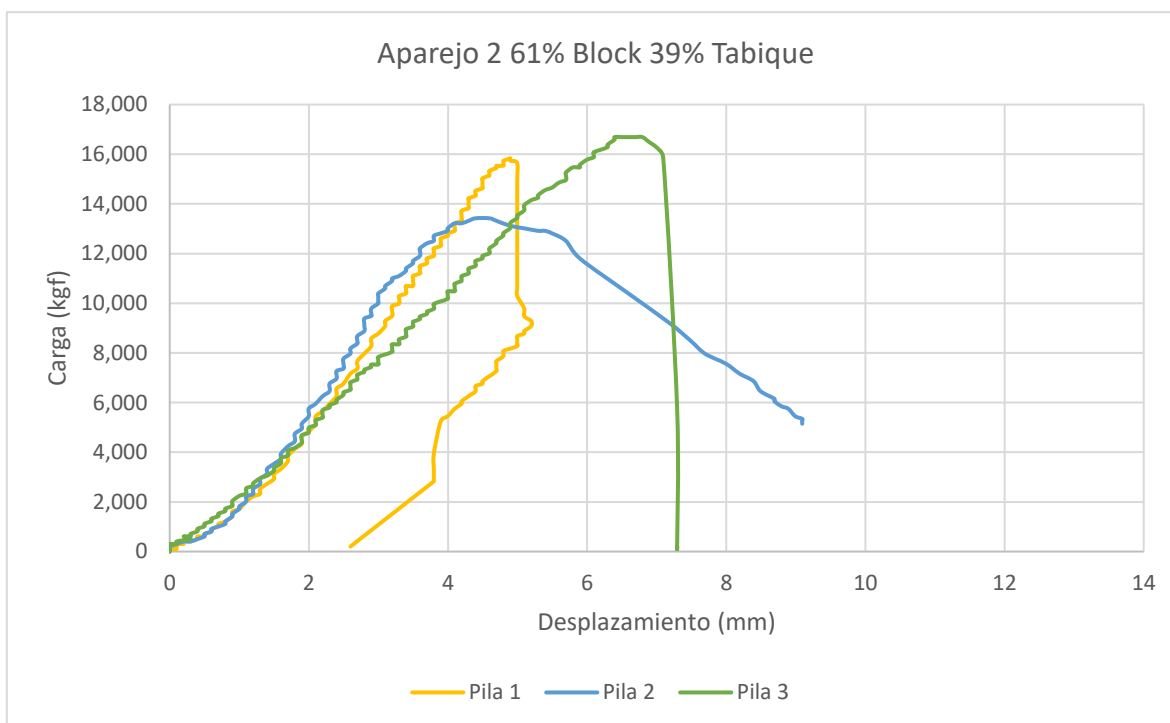


Figura 58 Relación Carga - Desplazamiento aparejo 2 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 58 se presenta la relación Carga – Desplazamiento correspondiente al aparejo 2 donde se puede observar que la relación de la pila 1 y pila 3 son muy similares en comportamiento siendo muy semejantes en cuanto a forma, teniendo la relación de la pila 1 menor carga y desplazamiento respecto a la línea de la pila 3 y para ambos casos teniendo una falla súbita, para el caso de la pila 2 esta tiene menor carga que los casos anteriores pero

se perdiendo carga gradual sin tener un colapso súbito, permitiendo un desplazamiento más grande sin fallar completamente. Con esto se tomaron las 3 líneas para promediar y obtener una línea representativa del aparejo, el promedio solo se obtendrá hasta el registro de la carga máxima.

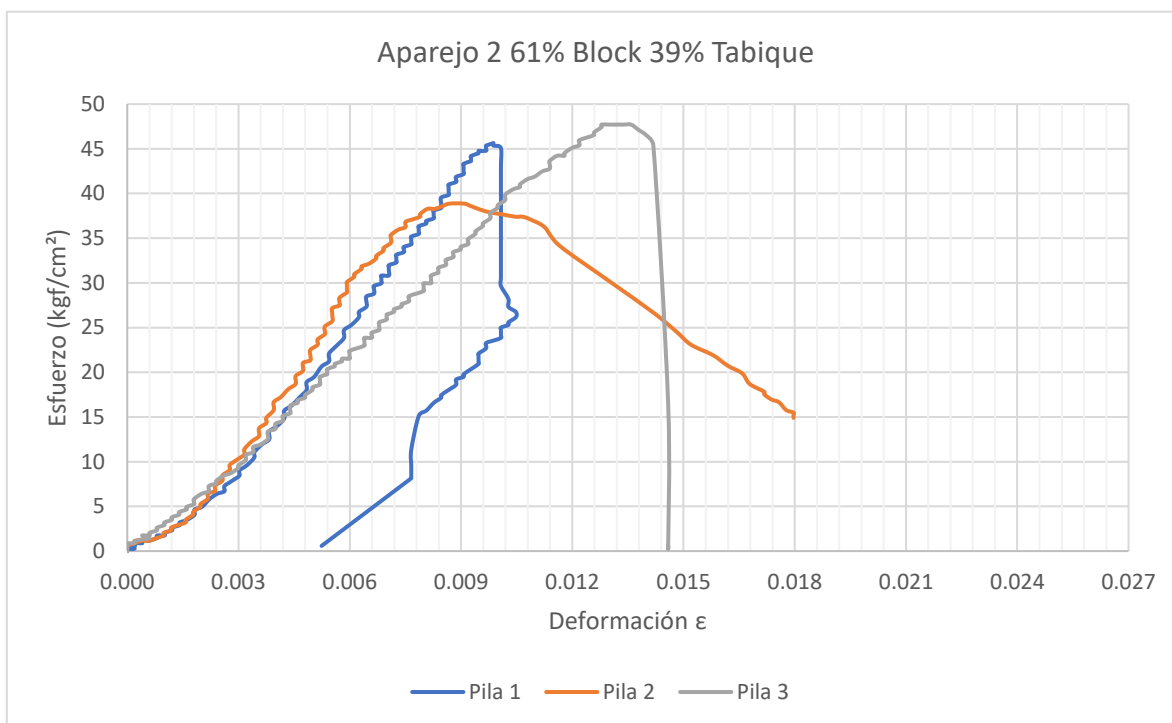


Figura 59 Relación Esfuerzo - Deformación aparejo 2 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 59 se presenta la relación Esfuerzo – Deformación correspondiente al aparejo 2, a partir de la cual se calculó el módulo de elasticidad. Para este caso se tomó en cuenta las tres relaciones, los resultados del módulo de elasticidad se presentan en la Tabla 35, donde se tiene un máximo de 5,859 kgf/cm² y un promedio de 4,829.11 kgf/cm², con un coeficiente de variación de 0.21, es decir, que los valores calculados son dispersos entre sí.

Tabla 35 Módulo de elasticidad aparejo 2 (Autoría propia, 2024)

		E_m	$\overline{E_m}$	c_m
		kgf/cm²	kgf/cm²	
Aparejo 2	Pila 1	4,830.14	4,829.11	0.21
	Pila 2	5,859.00		
	Pila 3	3,798.18		



Figura 60 Tipos de fallas presentadas en aparejo 2 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 60 se muestran las fallas que se presentaron en las pilas correspondientes al aparejo 2. En la pila 1 se observa una falla por agrietamiento vertical que son fisuras verticales en las caras de las pilas, en el caso de la pila 2 se observa una falla por aplastamiento local de pieza, en este caso fue la pieza de block superior en la cual se observan fisuras en esa pieza, para la pila 3 se presentó una falla explosiva en el núcleo de tabique.

IV.2.3.- Aparejo 3

En la Tabla 36 se presentan los resultados de resistencia a compresión del ensaye de las pilas correspondientes al aparejo 3, teniendo una resistencia máxima de 43.26 kgf/cm² y un promedio de 40.78 kgf/cm², con un coeficiente de variación de 0.05, siendo este muy pequeño lo que da a entender que los valores están muy cercanos entre sí.

Tabla 36 Resistencia a compresión aparejo 3 (Autoría propia, 2024)

	Área	Carga	f_m	$\overline{f_m}$	c_m	f_m^*
	cm ²	kgf	kgf/cm ²	kgf/cm ²		kgf/cm ²
Pila 1	367.23	14,080	39.46	40.78	0.05	36.01
Pila 2	359.46	15,060	43.26			
Pila 3	354.58	13,580	39.60			

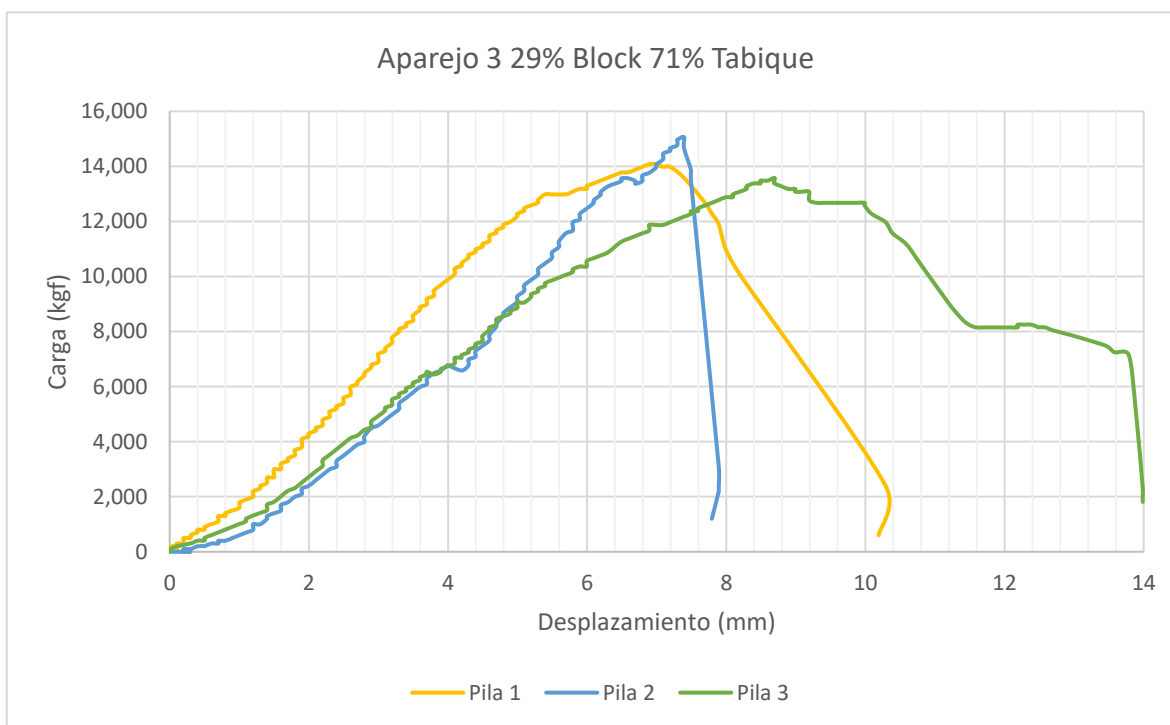


Figura 61 Relación Carga - Desplazamiento aparejo 3 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 61 se presenta la relación Carga – Desplazamiento correspondiente al aparejo 3 en donde se puede observar que las relaciones correspondientes a la pila 2 y pila 3 son bastante similares hasta cierto rango, para posteriormente separarse siendo la pila 2 la que

obtuvo mayor carga, pero menor desplazamiento respecto al de la pila 3, la cual tuvo menor carga, pero mayor desplazamiento. Para el caso de la pila 1 tiene una forma semejante al de la pila 3 pero teniendo un poco más de carga, pero menor desplazamiento, acercándose más al desplazamiento de la pila 2. Por este motivo las 3 relaciones se tomaron en cuenta para poder obtener una relación representativa de este tipo de aparejo.

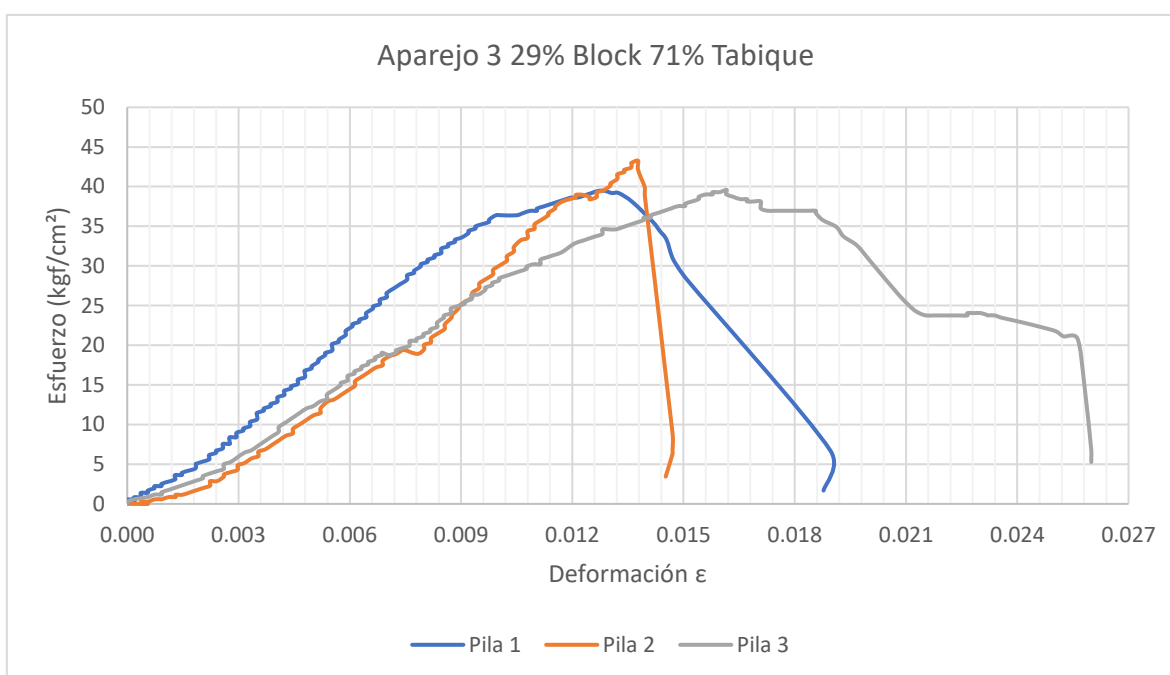


Figura 62 Relación Esfuerzo - Deformación aparejo 3 (Autoría, propia, 2024)

Tabla 37 Módulo de elasticidad aparejo 3 (Autoría propia, 2024)

		E_m	$\overline{E_m}$	c_m
		kgf/cm ²	kgf/cm ²	
Aparejo 3	Pila 1	4,267.17	3,535.20	0.18
	Pila 2	3,128.27		
	Pila 3	3,210.16		

En la Figura 62 se presenta la relación Esfuerzo – Deformación correspondiente al aparejo 3, a partir de la cual se calculó el módulo de elasticidad. Para este caso se tomó en cuenta las tres líneas, los resultados del módulo de elasticidad se presentan en la Tabla 37, donde se tiene un máximo de 4,267.17 kgf/cm² y un promedio de 3,535.20 kgf/cm², con un coeficiente de variación de 0.18, dando a entender que la variación de valores se encuentra dentro de los valores esperados de 0.10 a 0.20.



Figura 63 Tipos de falla presentada en aparejo 3 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 63 se muestran las fallas que se presentaron en las pilas correspondientes al aparejo 3. Para el caso de las 3 pilas la falla predominante es aquella por agrietamiento vertical, donde se pueden observar fisuras verticales en las caras de pilas tanto laterales como principales, estas atraviesan indistintamente piezas de block y tabique. Si bien la falla principal es por agrietamiento vertical, en el caso de la pila 1 se presentó en la zona superior de tabique una falla cónica por lo cual se puede decir que en la pila 1 existieron 2 tipos de falla, siendo la principal por agrietamiento vertical y la segunda una falla cónica local.

IV.2.4.- Aparejo 4

En la Tabla 38 se presentan los valores de resistencia a compresión correspondiente al ensaye de las pilas del aparejo 4, en donde se tiene una resistencia máxima de 46.36 kgf/cm², un promedio de 37.81 kgf/cm² y con coeficiente de variación de 0.24 el cual es el más alto de las pilas, y significando una gran variación entre los datos obtenidos.

Tabla 38 Resistencia a compresión aparejo 4 (Autoría propia, 2024)

	Área	Carga	f_m	$\overline{f_m}$	c_m	f_m^*
	cm ²	kgf	kgf/cm ²	kgf/cm ²		kgf/cm ²
Pila 1	266.03	12,230	46.36	37.81	0.24	23.81
Pila 2	267.57	7,580	28.60			
Pila 3	266.04	10,100	38.47			

En la Figura 64 se presenta la relación Carga – Desplazamiento de las pilas del aparejo 4, en donde se puede observar que las tres relaciones son completamente diferentes, teniendo cada una un comportamiento singular, para el caso de la línea correspondiente a la pila 1 existe un tramo vertical, esto es debido en ese punto no se registró desplazamiento pero si carga, esto es posible debido a que al aumentar la carga la pila comenzó a inclinarse provocando que el transductor no registrara desplazamiento, posteriormente se estabilizo y continuo con el registro y la última parte de la relación se debe a que la pieza inferior comenzó aplastarse pero no fallo permitiendo que de nuevo aumentara la carga hasta fallar completamente, tienen para este caso la carga y el desplazamiento más grande. Para la pila 2 se observa una línea recta hasta llegar a su carga máxima y fallar, siendo este la carga y el desplazamiento más pequeño. Para el caso de la pila 3 es la que tuvo un mejor comportamiento, en donde se observa que al aumentar la carga de igual manera el desplazamiento. Por lo descrito anteriormente se tomará como representativo de este aparejo la línea del correspondiente a la pila 3.

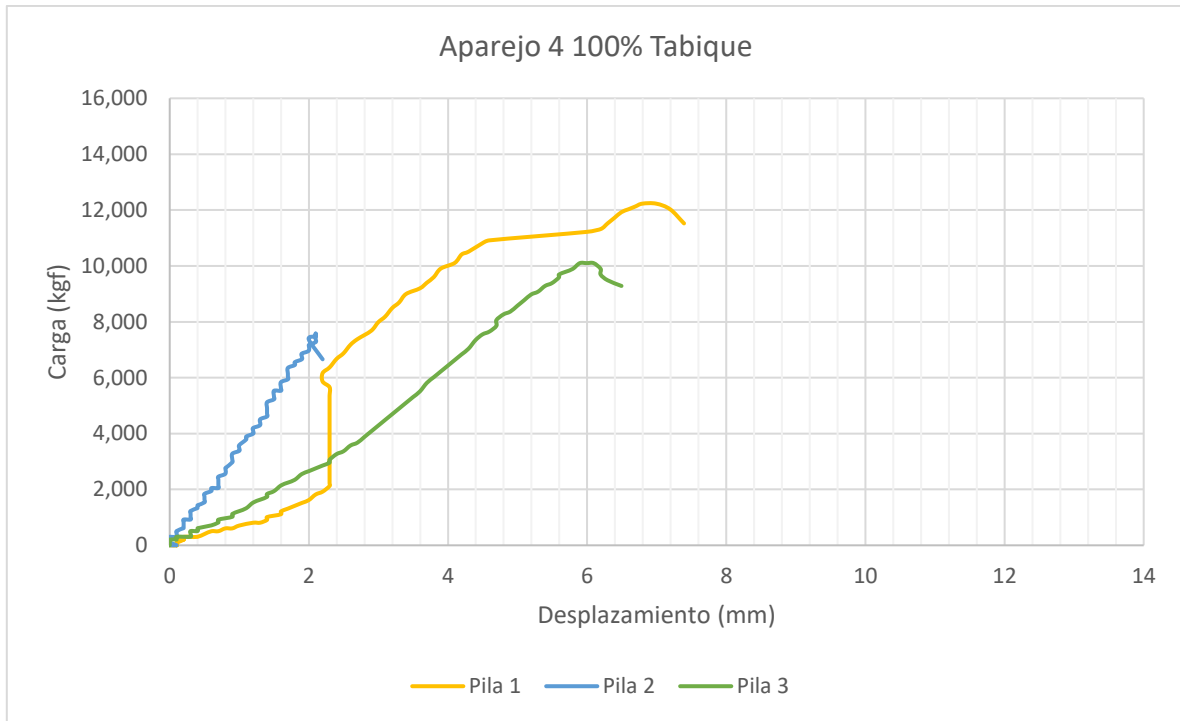


Figura 64 Relación Carga - Desplazamiento aparejo 4 (Autoría propia, 2024)

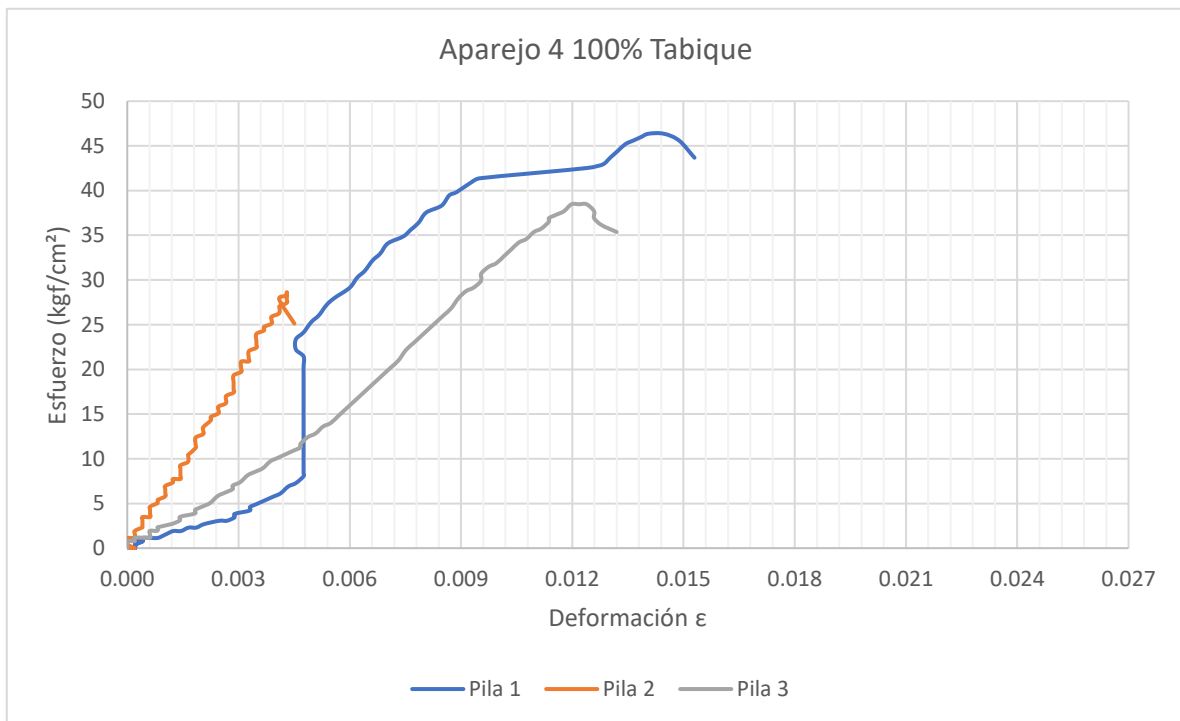


Figura 65 Relación Esfuerzo - Deformación aparejo 4 (Autoría propia, 2024)

Tabla 39 Módulo de elasticidad aparejo 4 (Autoría propia, 2024)

		E_m	$\overline{E_m}$	c_m
		kgf/cm ²	kgf/cm ²	
Aparejo 4	Pila 3	3,007.30	3,007.30	-

En la Figura 65 se la relación Esfuerzo – Deformación correspondiente al aparejo 4, a partir de la cual se calculó el módulo de elasticidad. Para este caso y de acuerdo con lo explicado en el párrafo anterior, para obtener el módulo de elasticidad se tomó en cuenta la relación perteneciente a la pila 3, de la cual se puede obtener valor significativo. En la Tabla 39 se presentan los datos obtenidos para la pila 3, donde se tiene un valor obtenido de 3,007.30 kgf/cm², sin un coeficiente de variación debido a que como solo se tomó en cuenta una pila para obtener el resultado, este coeficiente no se calcula ya que depende de mínimo dos valores.

En la Figura 66 se observan los tipos de fallas presentadas en las pilas correspondientes al aparejo 4. En el caso de las pilas 1 y 2 se presentan fallas por cortante, si bien son la misma falla no se presentan en el mismo lugar, para el caso de la pila 1 la falla aparece en la parte inferior de la pila, mientras que en el caso de la pila 2 se presenta en la parte superior, en la pila 1 se puede ver de manera más definida la falla. Para el caso de la pila 3 fue completamente diferente a las 2 anteriores, la falla de esta fue por agrietamiento vertical, donde se puede observar más en las laterales de la pila.

Con esto concluyeron los ensayos para obtener la resistencia a compresión de las pilas y de los ensayen en general de las probetas.



Figura 66 Tipos de falla presentadas en aparejo 4 (Autoría propia, 2024)

CAPITULO V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYES

En el presente capítulo se presentan un compendio de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a los muretes y las pilas, esto con el fin de realizar una comparativa entre los valores conseguidos para cada aparejo y la relación que llegó a existir entre ellos, así como también condiciones que afectan al diseño con este método constructivo.

V.1.- Muretes

V.1.1.- Resistencia a compresión diagonal

De los resultados presentados en el CAPITULO III.- ENSAYE DE MURETES A COMPRESIÓN DIAGONAL, se obtuvo la resistencia a compresión diagonal, relación Carga – Desplazamiento, relación Esfuerzo – Deformación, módulo de cortante y tipos de fallas presentada en cada tipo de aparejo. Con esta información recabada es necesario compararlos para encontrar como es la variación de aparejo que son 100 % de un solo material con aquellos que van variando la densidad e incluso lo que tienen la misma cantidad de material, pero contruidos con diferente aparejo.

Tabla 40 Resistencia a compresión diagonal y resistencia de mortero por aparejo (Autoría propia, 2024)

		$\bar{f}_j$	$\bar{v}_m$	c_v
	Porcentaje de material	kgf/cm ²	kgf/cm ²	
Aparejo 1	100% Block	137.72	11.02	0.16
Aparejo 2	78% Block – 22% Tabique	117.11	7.12	0.10
Aparejo 3	57% Block- 43% Tabique	84.10	5.21	0.20
Aparejo 4	57% Block- 43% Tabique	64.25	3.69	0.32
Aparejo 5	57% Block- 43% Tabique	82.86	5.13	0.11
Aparejo 6	39% Block- 61% Tabique	70.04	4.25	0.20
Aparejo 7	21% Block- 79% Tabique	117.29	3.94	0.28
Aparejo 8	100% Tabique	94.63	4.31	0.14

En la Tabla 40 se presenta un concentrado de la resistencia a compresión diagonal promedio, coeficiente de variación y la resistencia a diseño, de cada uno de los aparejos. Se puede observar que el aparejo 1 es el máximo de los promedios mientras que el mínimo es del aparejo 4, por otro lado, por lo que se puede concluir que construir muros con el block

empleado en esta investigación se obtiene una mayor resistencia a cortante en comparación con muros de tabique, por lo que, cualquiera de las formas de construir que contengan una combinación de block mayor de block a tabique tendrá una resistencia mayor, véase valores del aparejo 6, 7 y 8.

De acuerdo con la Tabla 40 se puede observar que conforme se va disminuyendo el porcentaje de block también disminuye la resistencia a cortante, que a su vez está ligado con la resistencia a compresión del mortero, sin embargo, no es así en todos los casos, ya que en el aparejo 7 y 8 donde se tienen resistencias altas de morteros la resistencia a cortante es menor que los aparejos anteriores. En esta investigación se observó que la resistencia del mortero afecta a la resistencia a cortante del muro siempre y cuando se tenga un porcentaje de block mayor al 39%, se hipotetiza que la razón es debida a la rugosidad de las piezas de block comparada con las de mortero ya que todo el trabajo interno está desarrollado por las piezas.

Hay que analizar entres sí los resultados del aparejo 3, 4 y 5, ya que estos tienen el mismo porcentaje de block y tabique, distribuido de diferente manera, el que tuvo mayor resistencia fue el aparejo 3, seguido del aparejo 5 y por último el aparejo 4 (el aparejo 3 y 5 tienen resistencia similar), esto se considera que está relacionado con la resistencia del mortero, tipo de pieza sobre la que se asienta los cabezales y con la configuración con la que se construyó, siendo el mejor caso la del aparejo 3.

El coeficiente de variación máximo corresponde al aparejo 4 mientras que el mínimo al aparejo 2, lo que da a entender que los resultados de aparejo 4 fueron muy dispersos y por el contrario los del apareo 2 fueron más cercanos entre sí. Los coeficientes se calcularon de acuerdo como lo indica la NMX-C-464-ONNCCE-2010, estos se utilizaron para obtener los valores de diseño.

En la Figura 67 se presenta un concentrado de las relaciones Carga – Desplazamiento de todos los aparejos en donde se pueden agrupar comportamientos similares en la zona elástico lineal, lo que quedaron de la siguiente manera:

- A1 M3 - A2 M2 - A5 M2
- A3 M2 - A7 M2

- A4 M1 - A7 M3
- A3 M1 – A4 M2
- A2 M3 – A8 M1
- A8 M2 – A8 M3
- A5 M3 – A6 M1
- A1 M1 y A1 M2
- A4 M2
- A2 M1 – A5 M1 – A6 M2 – A3 M3 – A7 M1 – A6 M3

Esto permite entender que muretes que no comparten las mismas características llegan a presentar comportamientos similares, principalmente en la zona elástico – lineal, lo cual genera una hipótesis en la cual se considera que con un mejor control en la construcción de muretes estos pueden llegar a registrar comportamientos casi iguales y disminuir el sesgo entre valores obtenidos.

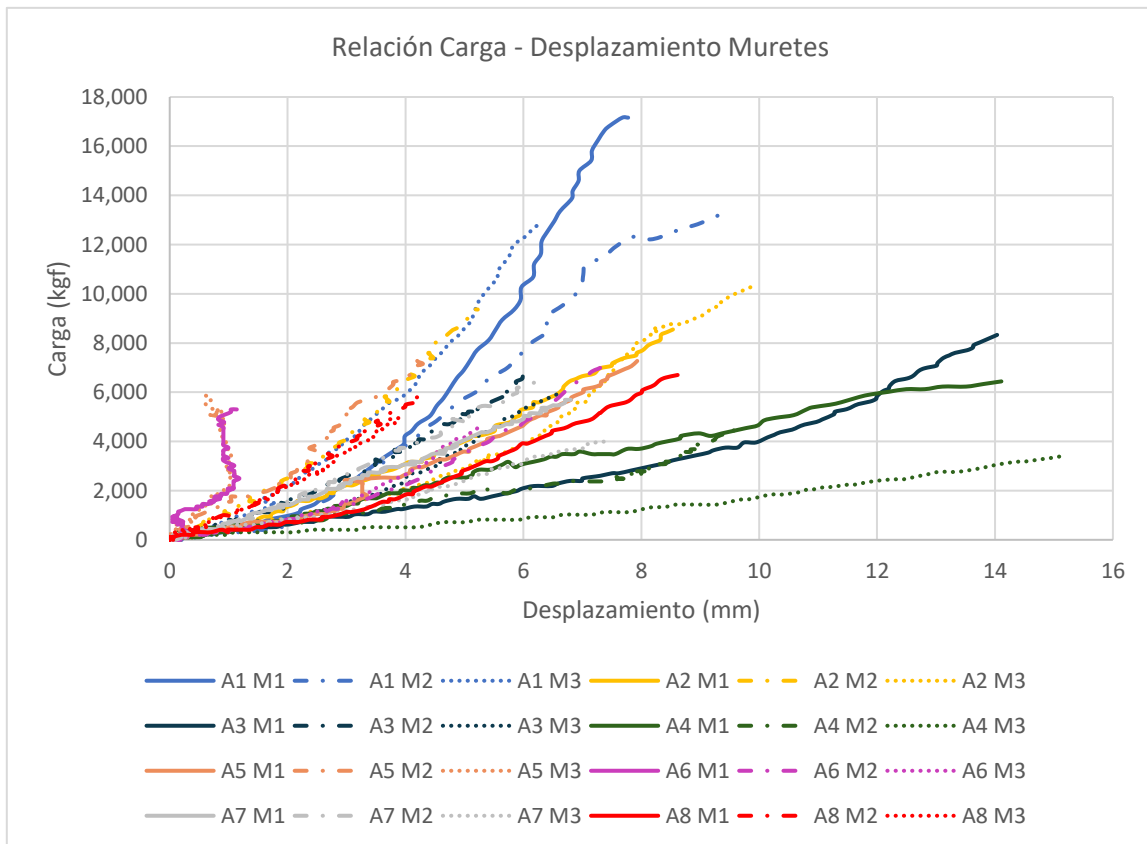


Figura 67 Relación Carga - Desplazamiento de Muretes (Autoría propia, 2024)

En la Figura 68 se presenta de mejor manera el conjunto formado por los siguientes muretes: A2 M1 – A5 M1 – A6 M2 – A3 M3 – A7 M1 – A6 M3, donde se observa una envolvente. Se considera que estas tienen un comportamiento similar debido a la cercanía de los morteros del aparejo 3, 5 y 6, y de los aparejos 2 y 7, así también los aparejos 2, 3 y 6 se asientan sobre block, mientras 5 y 7 sobre tabique. Por lo que da a entender que el mortero influye al comportamiento, así como también sobre qué tipo de pieza se aplica la carga.

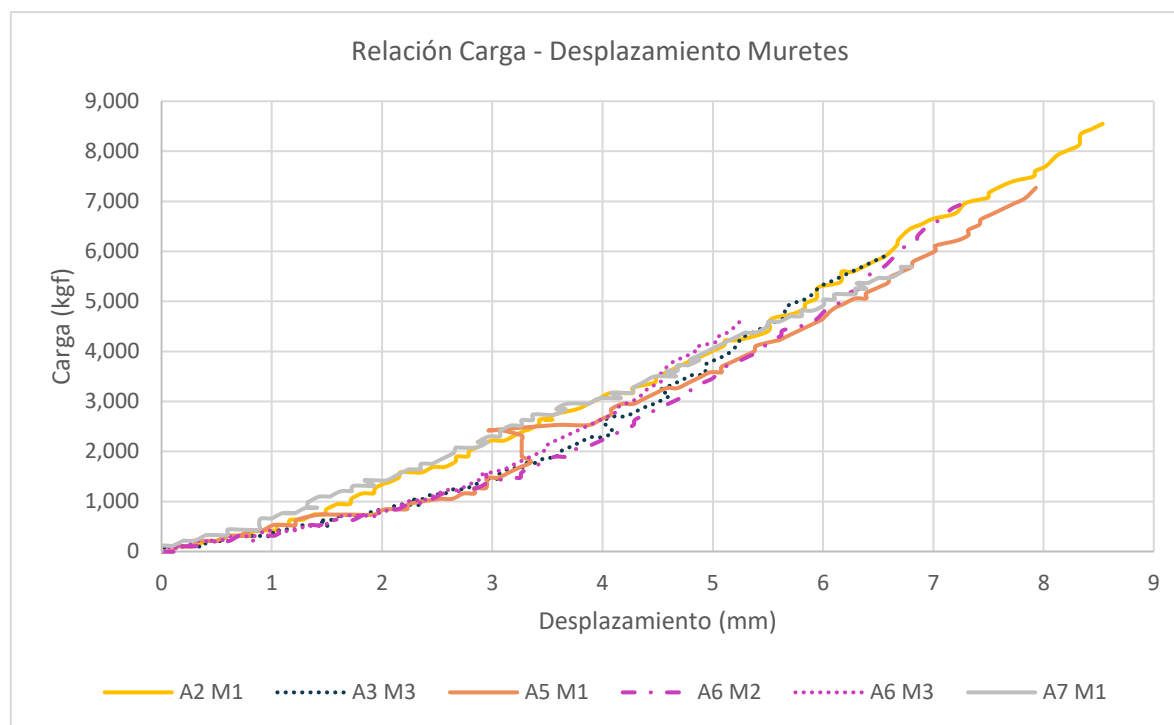


Figura 68 Relación Carga - Desplazamiento A2 M1 - A5 M1 - A6 M2 - A3 M3 - A7 M1 - A6 M3 (Autoría propia, 2024)

En la Figura 69 se presenta la relación Carga – Desplazamiento para el aparejo 3 4 y 5 para poder comparar estos casos los cuales tienen la misma densidad de block y tabique (57% Block – 43% Tabique). Se puede observar como A3 M1 y A4 M2 tiene la misma tendencia y posteriormente se bifurcan, por lo que se considera que trabajan igual en el rango elástico lineal, mientras el rango inelástico A2 M2 es más grande que A3 M2 permitiendo mayor carga y desplazamiento. Para el caso de A3 M3 -A4 M1 - A5 M1 también comparten un rango elástico muy similar, no así en el rango inelástico donde A4 M1 es más pronunciado que en los otros casos. En el caso de los demás muretes cada tiene comportamiento diferente, a pesar de eso se puede concluir que el acomodo de las piezas, sobre qué tipo de pieza se aplica la carga y la resistencia de mortero influyen en el comportamiento de los muretes.

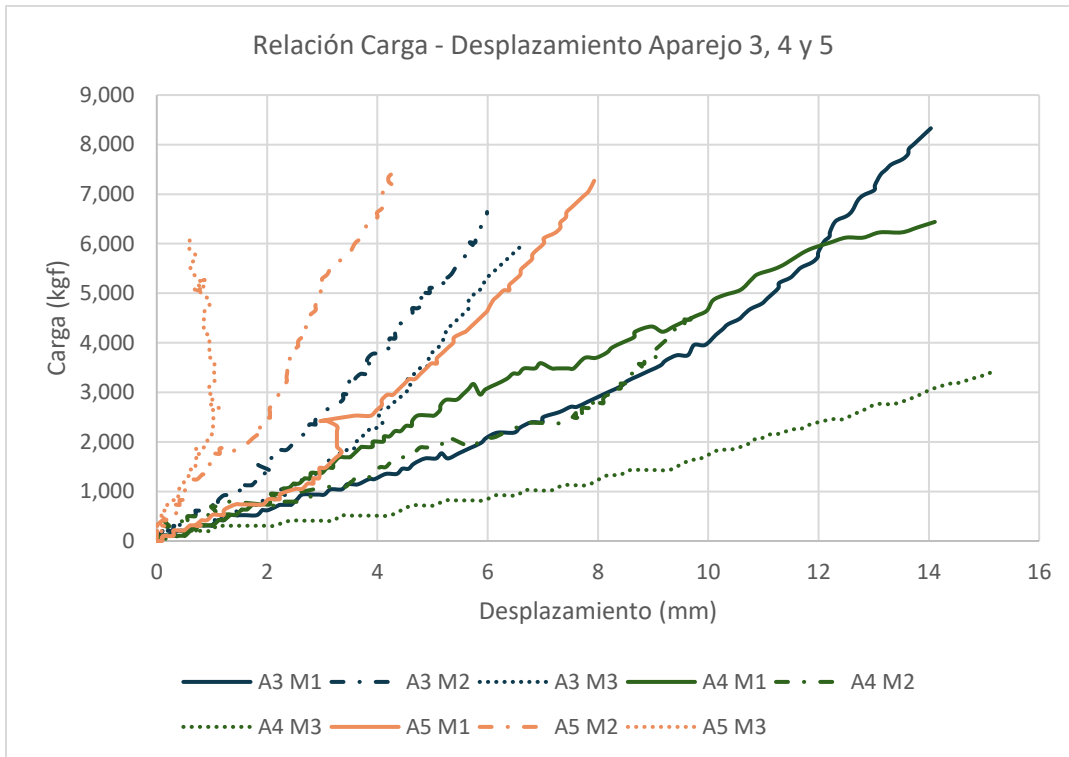


Figura 69 Relación Carga- Desplazamiento Aparejo 3, 4 y 5 (Autoría propia, 2024)

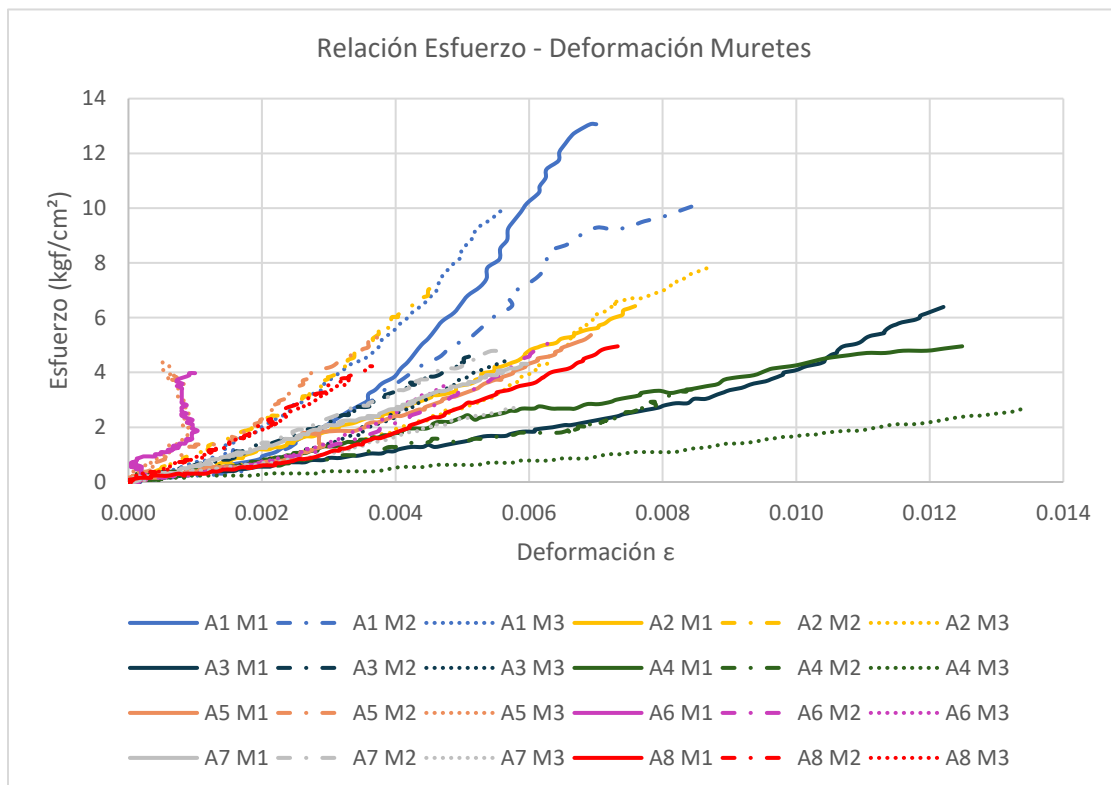


Figura 70 Relación Esfuerzo - Deformación Muretes (Autoría propia, 2024)

En el caso particular de cada aparejo se obtuvo la relación Esfuerzo – Deformación y al igual que con la relación Carga – Desplazamiento se condensaron en una sola gráfica, como se presenta en la Figura 70 y donde se puede observar el mismo comportamiento descrito párrafos anteriores.

El análisis general que ha realizado hasta el momento en fue por murete de aparejo, pero como se mencionó en el capítulo III.2.- Resistencia a compresión diagonal y tipo de falla cuando se presentaron los resultados de los ensayos, se eliminarían relaciones para así obtener promedios representativos del comportamiento general del aparejo. En la Figura 71 se presenta la relación Carga – Desplazamiento de cada aparejo, mientras en la Figura 72 se muestra la relación Esfuerzo – Deformación en donde se puede observar que el aparejo 1 es el que registro mayor carga y por ende un mayor esfuerzo, el aparejo 4 es el que registro la menor carga y por consiguiente el menor esfuerzo, sin embargo, fue este aparejo el que registro el mayor desplazamiento y deformación. El aparejo 8 registro el menor desplazamiento y por lo tanto la menor deformación, pero con un esfuerzo en rango con los aparejos faltante, así los aparejo 1, 4 y 8 son los que tienen comportamientos diferentes, mientras los aparejos 2, 3, 5, 6 y 7, tienen un comportamiento bastante similar y esto coincide con los muretes que tuvieron comportamientos idénticos como se describió en párrafos anteriores, ya que dichos muretes pertenecen a estos aparejos. Por lo que se puede concluir lo siguiente: construir con block es mejor que construir con tabique, tiene mayor esfuerzo y mayor deformación, construir con aparejos combinados disminuye la resistencia y deformación respecto a la de block, pero son mayores a la del tabique, dando a entender que es mejor construir con alguna combinación de block tabique que con solo tabique.

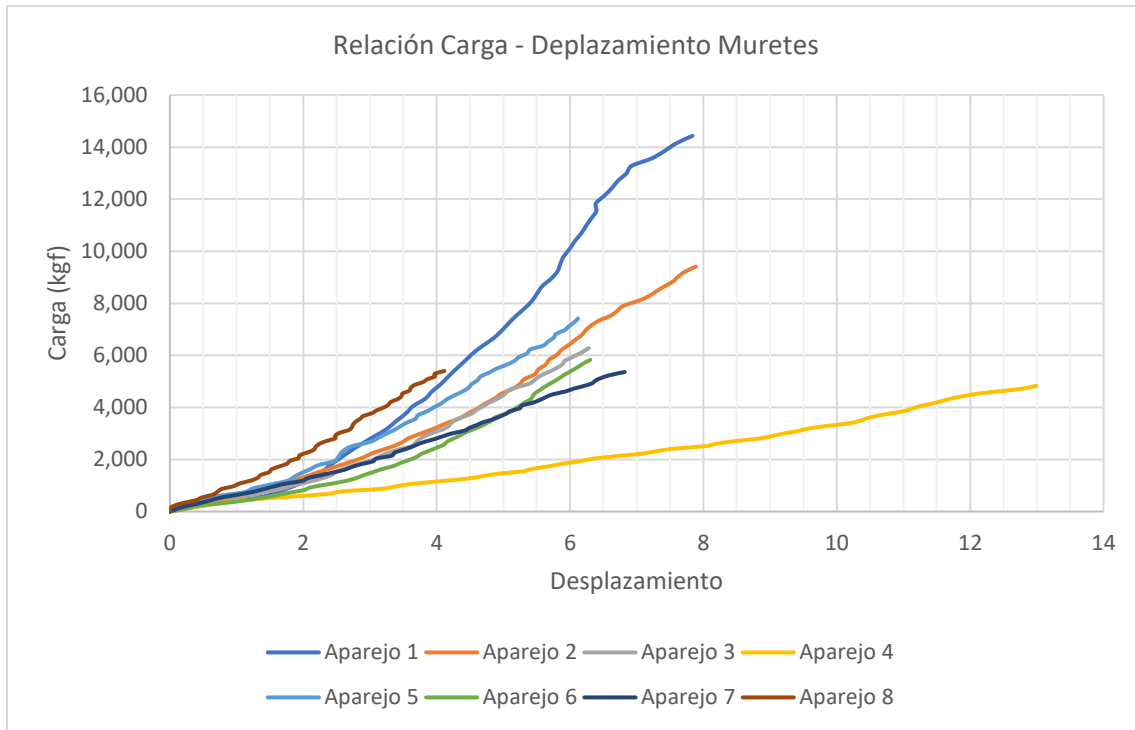


Figura 71 Relación Carga - Desplazamiento de promedios de aparejos (Autoría propia, 2024)

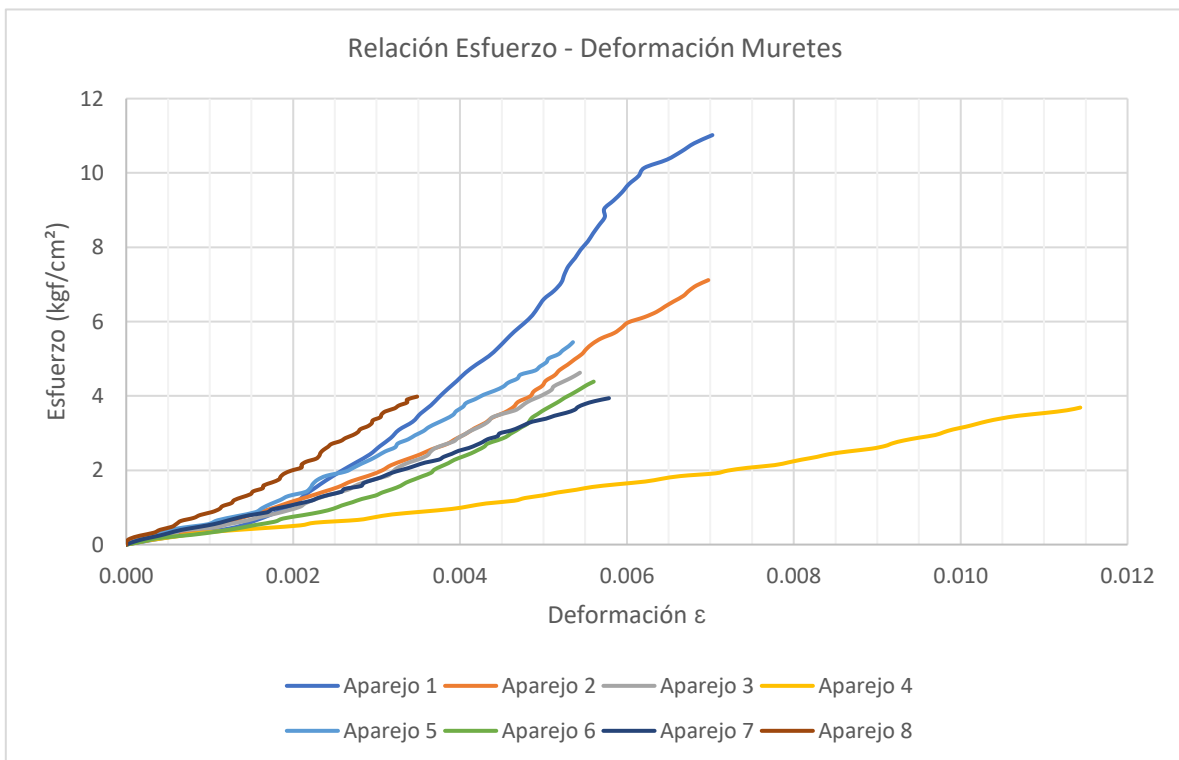


Figura 72 Relación Esfuerzo - Deformación de promedios de aparejos (Autoría propia, 2024)

V.1.2.- Módulo de cortante

A partir de la relación Esfuerzo – Deformación se obtuvo el módulo de cortante, por lo cual en la Tabla 41 se presenta el módulo de cortante promedio de cada aparejo, así como el coeficiente de variación que hay entre los valores obtenidos. Como se indicó en el capítulo III.2.- Resistencia a compresión diagonal y tipo de falla, los valores obtenidos son representativos para poder realizar una comparativa entre los aparejos.

De acuerdo con Tabla 41 se presenta un compendio de los módulos de cortante por aparejo. El módulo más grande es el de aparejo 1 mientras el aparejo 4 es el módulo más pequeño, entre el máximo y el mínimo existe una diferencia de 1,428.36 kgf/cm². La diferencia entre el aparejo 1 y el aparejo 8 es de 603.10 kgf/cm² esta es importante ya que son los extremos respecto a la densidad de material. Para el caso de los aparejos con la misma densidad de material el módulo máximo es del aparejo 5 posteriormente el apareo 3. Todo esto nos da a entender que el $\overline{v_m}$ mantiene cierta relacionada con el $\overline{G_m}$ pero no en todos los casos, el $\overline{G_m}$ depende principalmente del comportamiento elástico, ya que a un mismo esfuerzo se obtienen deformaciones diferentes, como el caso del aparejo 8 (ver Figura 72) donde se observa como la relación es una zona elástica hasta la falla sin cambios de tendencia, caso contrario al aparejo 1 donde se observa una zona inelástica más definida.

Tabla 41 Módulo de cortante de muretes (Autoría propia, 2024)

	$\overline{G_m}$	c_v
	kgf/cm ²	
Aparejo 1	1,694.84	0.08
Aparejo 2	935.50	0.49
Aparejo 3	663.72	0.37
Aparejo 4	266.48	0.50
Aparejo 5	1,225.98	0.43
Aparejo 6	398.31	0.03
Aparejo 7	621.10	0.42
Aparejo 8	1,091.74	0.02

Se podría considerar que estos resultados también estuvieron influenciados por el tipo de material sobre el cual los cabezales se apoyaron, sin embargo, el aparejo 1 se asentó sobre block mientras que el aparejo 5, que es el valor más cercano respecto a este, se asentó sobre

tabique, y el aparejo 4 también se asentó sobre tabique y tuvo el $\overline{G_m}$ más pequeño, por lo que al final se concluye que no afecta sobre el tipo de material que se apoya.

De acuerdo con lo observado lo que afecta es el acomodo de las piezas, es decir como está distribuido la densidad de materiales. El aparejo 3 y el aparejo 7 tienen una hilera de block en el centro que son los $\overline{G_m}$ cercanos entre sí, el aparejo 4 y el 6 son los más bajos $\overline{G_m}$ a su vez son el contrario en el acomodo de piezas, es decir, el aparejo 4 tiene un núcleo de block y el aparejo 6 tiene un núcleo de tabique, así mismo el aparejo 1 y el aparejo 8 son de un solo material, por lo que se puede concluir que el módulo de cortante depende de la distribución de densidades de los materiales, entre tengan una mejor distribución de materiales tendrá un mejor módulo de cortante.

Los valores de coeficiente de variación obtenidos son en una mayoría grandes lo que da a entender que existe una gran dispersión entre los resultados obtenidos, exceptuando tres casos el aparejo 1, 6 y 8.

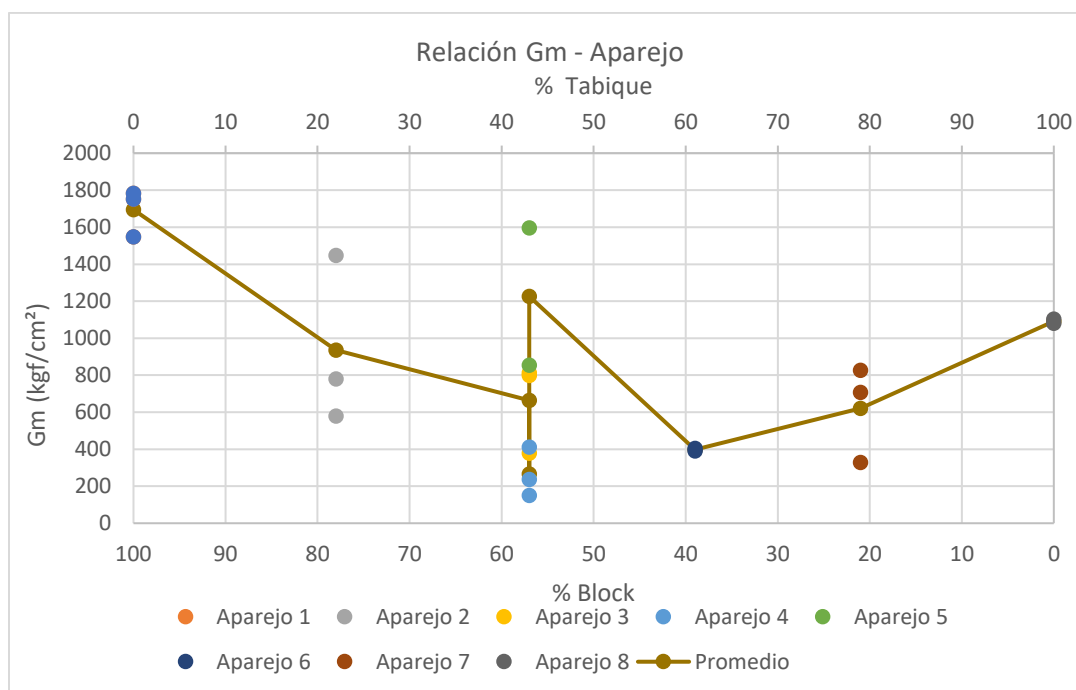


Figura 73 Relación módulo de cortante vs aparejo (Autoría propia, 2024)

De la Tabla 41 se genera la relación módulo de cortante – aparejo que se presenta en la Figura 73, se puede observar de manera más clara el comportamiento del módulo de cortante. De acuerdo con la Figura 73 conforme disminuye el porcentaje de block también disminuye el

módulo de cortante, exceptuando el aparejo 5, se lleva a un mínimo en el aparejo 6 para aumentar nuevamente, se especula que este comportamiento se debe a la configuración del aparejo, así como también al tipo de pieza en la cual se aplica la carga. Como se menciona exceptuando el aparejo 5 se vería de manera más definida un comportamiento parabólico.

V.1.3.- Deformación

De la Figura 72 se puede obtener el esfuerzo y la deformación máxima para cada murete de cada aparejo, estos valores se representaron en la Tabla 42 y en la Figura 74.

Tabla 42 Deformación y Esfuerzo máximo por aparejo y murete (Autoría propia, 2024)

		Deformación	Esfuerzo
		ε	kgf/cm ²
Aparejo 1	Murete1	0.0070	13.06
	Murete2	0.0084	10.07
	Murete3	0.0056	9.92
Aparejo 2	Murete1	0.0076	6.42
	Murete2	0.0046	7.04
	Murete3	0.0088	7.89
Aparejo 3	Murete1	0.0122	6.39
	Murete2	0.0052	4.81
	Murete3	0.0057	4.44
Aparejo 4	Murete1	0.0125	4.96
	Murete2	0.0085	3.45
	Murete3	0.0134	2.65
Aparejo 5	Murete1	0.0069	5.37
	Murete2	0.0038	5.53
	Murete3	0.0010	4.49
Aparejo 6	Murete1	0.0010	3.97
	Murete2	0.0065	5.21
	Murete3	0.0047	3.56
Aparejo 7	Murete1	0.0060	4.32
	Murete2	0.0055	4.78
	Murete3	0.0059	2.72
Aparejo 8	Murete1	0.0073	4.95
	Murete2	0.0037	4.23
	Murete3	0.0033	3.74

En la Figura 74 se puede observar cómo los esfuerzos y deformaciones se concentran entre 2.5 kgf/cm² y 7 kgf/cm² de esfuerzo y para la deformación se encuentra entre valores de 0.003 y 0.008, los cuales están delimitados por un cuadrado rojo, dentro del ovalo morado están los valores representativos de la deformación máxima registra que abarca de 0.008 a 0.0135 que pertenecen al aparejo 4, mientras en el círculo azul están los esfuerzos máximos registrados que están entre 10 y 13 kgf/cm² que pertenecen al aparejo 1. De esto se puede concluir que, si se requiere obtener deformaciones grandes y a su vez un buen esfuerzo, es mejor construir con block, se lo que se busca es tener mejor deformación sacrificando la resistencia sería mejor construir con la combinación del aparejo 4, mientras que en los demás casos se encuentran entre una deformación y un esfuerzo promedio.

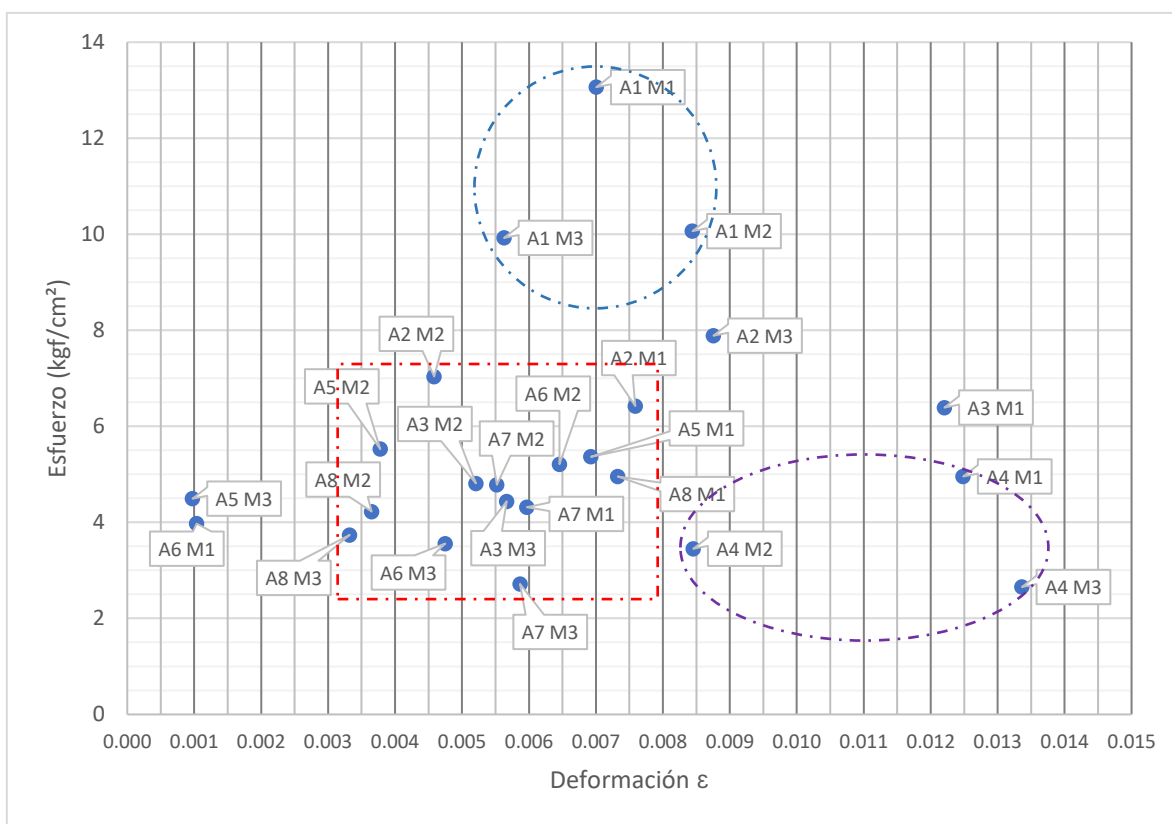


Figura 74 Deformación y Esfuerzo máximo por murete (Autoría propia, 2024)

Al igual en que en el caso particular de los muretes en la Figura 75 se representan los puntos de deformación y esfuerzo por aparejo en donde se observa una concentración de deformaciones entre el 0.005 y 0.006 con esfuerzos entre 4 kgf/cm² y 6 kgf/cm² al momento

de la falla, el aparejo 3 ronda en un esfuerzo de similar a lo anterior, pero con una deformación menor siendo esta de 0.0035. El aparejo 1 y el aparejo 2 tienen la misma deformación, pero diferente esfuerzo, siendo el primero el que mayor esfuerzo tiene de todos los aparejos, por último, el aparejo 4 que como se mencionó con anterioridad es el que mayor deformación (0.0114) tiene, pero el menor esfuerzo (3.69 kgf/cm²). Como se mencionó con anterioridad dependiendo de lo que se el diseñador, calculista o constructor desea es con lo que se puede construir, ya sea mayor deformación o mayor esfuerzo que a su vez esto afecta el $\overline{G_m}$.

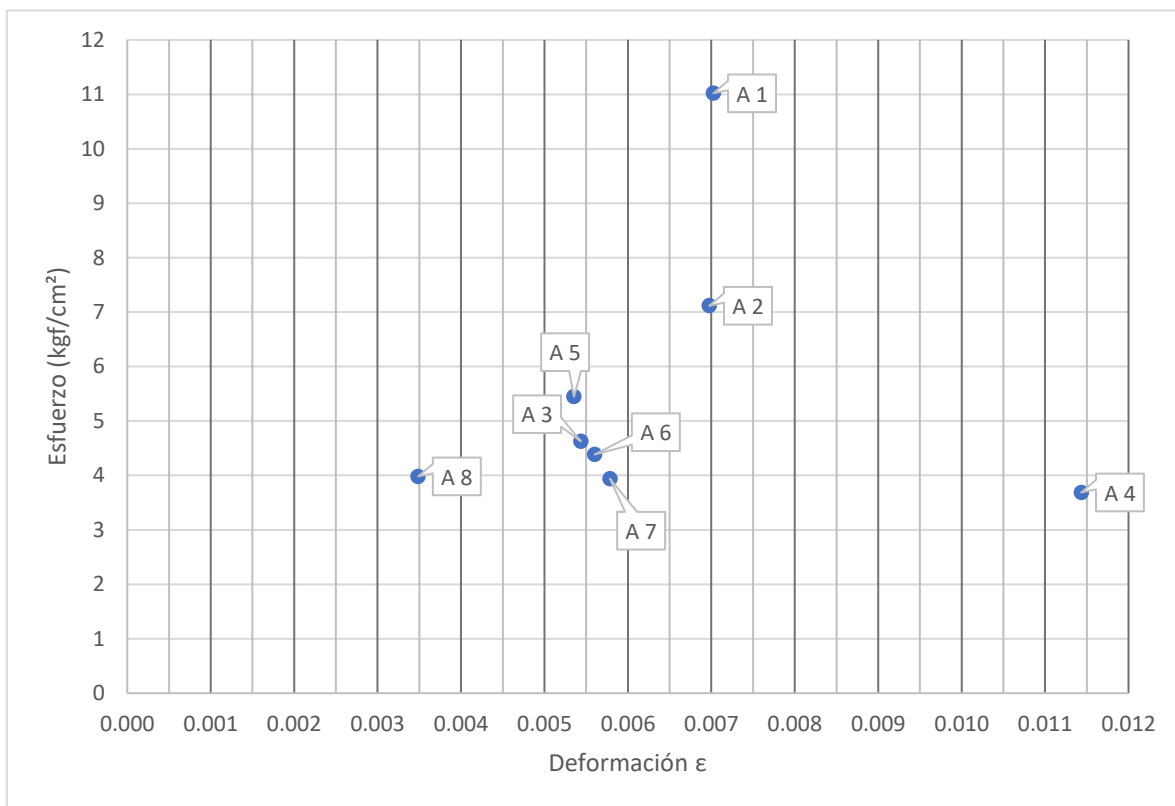


Figura 75 Esfuerzo y deformación por aparejo (Autoría propia, 2024)

V.1.4.- Esfuerzo cortante- Aparejo

En la Figura 76 se presenta el esfuerzo a cortante respecto al porcentaje de tabique y block con el que fue elaborado, en el eje inferior se encuentra el porcentaje de tabique y en el eje superior el porcentaje de block, así como una línea con el promedio para cada aparejo. En donde se observar respecto al tabique que conforme aumente la densidad de material el esfuerzo disminuye caso contrario al block en donde va aumentando la densidad del material el esfuerzo aumenta.

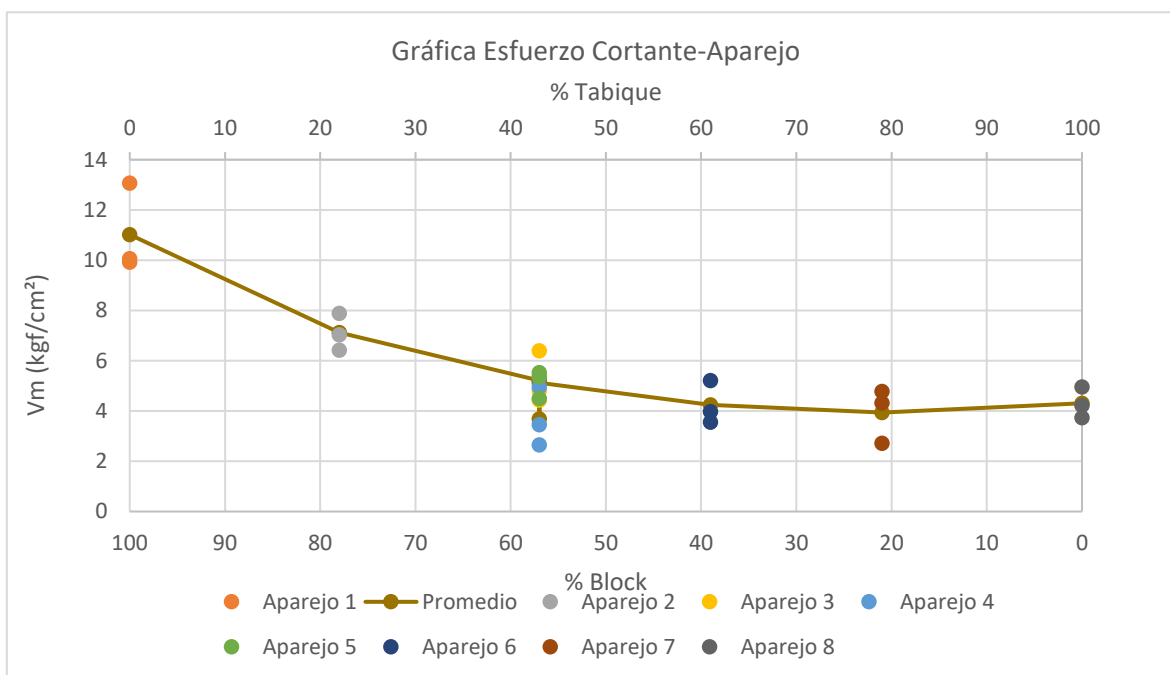


Figura 76 Relación Esfuerzo Cortante - Aparejo (Autoría propia, 2024)

Siendo el punto más bajo de esa representación curvilínea cuando la densidad de material se encuentra en un 21% Block – 79% Tabique, mientras el esfuerzo máximo se encuentra cuando es 100% Block, lo que nos da a entender que si aumentamos la densidad de tabique el esfuerzo disminuye, pero cuando alcanza el 79% se encuentra en un punto de inflexión y el esfuerzo vuelve a aumentar significativamente cuando se alcanza un 100% de tabique. Esto no quiere decir que no se pueda ocupar el 79% de tabique ya que sigue teniendo un buen esfuerzo.

En la Figura 77 se presenta una comparativa entre el resultado de los esfuerzos promedios y la Ecuación 15, que es una propuesta para obtener el valor del cortante resistente en función del porcentaje de tabique.

Ecuación 15

$$\overline{v_m} = \frac{1}{880}x^2 - \frac{1}{20}x + \frac{22}{5}$$

Donde:

- $\overline{v_m}$ es la resistencia a compresión diagonal en kgf/cm².
- x es el porcentaje de block que se obtiene de un muro.

Con esta ecuación se obtiene un esfuerzo cortante promedio de acuerdo con porcentaje de block que puede tener un muro de mampostería combinada, para ver cómo se obtuvo la ecuación y el uso de esta ver anexo. Se aclara que esta ecuación funciona para el block y tabique que se ocuparon en la investigación.

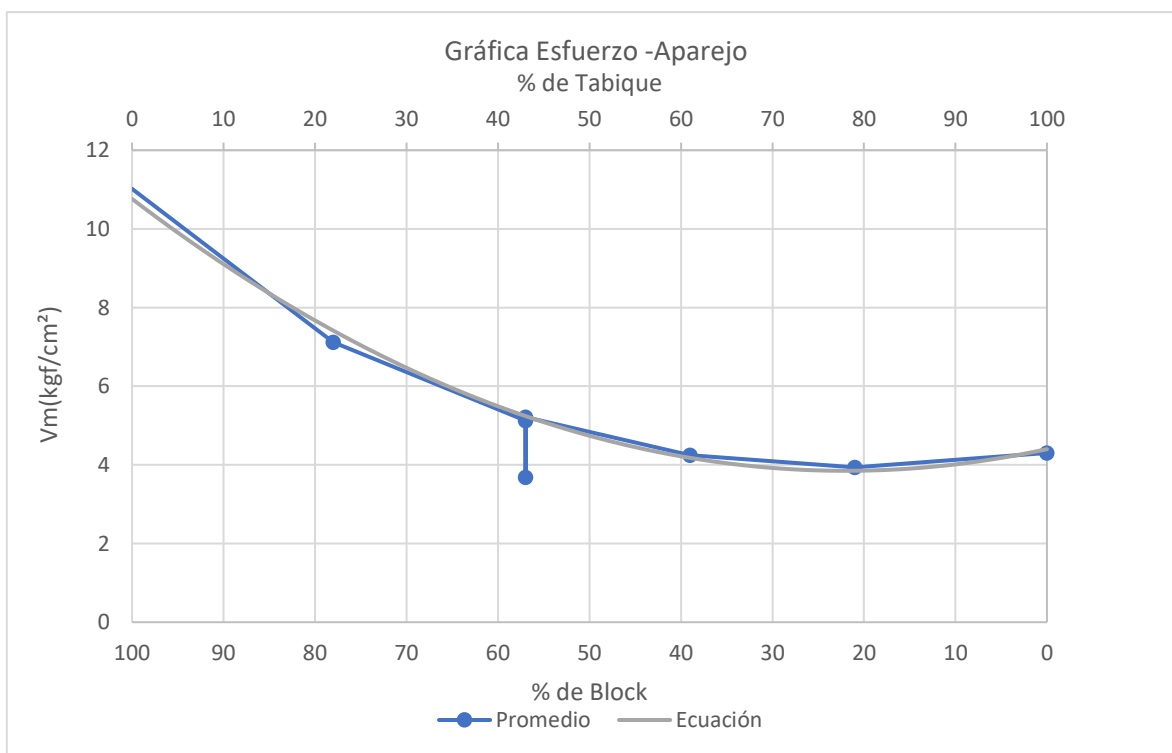


Figura 77 Relación Esfuerzo Cortante- Aparejo Promedio vs Ecuación (Autoría propia,2024)

Tabla 43 Falla por murete y resistencia promedio de mortero (Autoría propia, 2024)

Aparejo	Murete	Tipo de falla	$\bar{f}_j$
			kgf/cm ²
Aparejo 1	Murete 1	Tensión diagonal	137.72
	Murete 2	Tensión diagonal	
	Murete 3	Combinada	
Aparejo 2	Murete 1	Combinada	117.11
	Murete 2	Combinada	
	Murete 3	Tensión diagonal	
Aparejo 3	Murete 1	Combinada	84.1
	Murete 2	Combinada	
	Murete 3	Combinada	
Aparejo 4	Murete 1	Combinada	64.25
	Murete 2	Combinada	
	Murete 3	Combinada	
Aparejo 5	Murete 1	Combinada	82.86
	Murete 2	Combinada	
	Murete 3	Volteo	
Aparejo 6	Murete 1	Combinada	70.04
	Murete 2	Cortante	
	Murete 3	Combinada	
Aparejo 7	Murete 1	Combinada	117.29
	Murete 2	Combinada	
	Murete 3	Combinada	
Aparejo 8	Murete 1	Combinada	94.63
	Murete 2	Combinada	
	Murete 3	Cortante	

Tabla 44 Resumen de tipos de fallas que se presentaron en muretes (Autoría propia, 2024)

Tipo de falla	Cantidad de muretes	Porcentaje
Combinada	18	75%
Tensión diagonal	3	13%
Cortante	2	8%
Volteo	1	4%
TOTAL	24	100%

En la Tabla 43 se presenta un concentrado de las fallas que se presentaron en cada murete por aparejo, así como la resistencia promedio del mortero, se observa que los morteros que presentaron mayor resistencia aparecieron en su mayoría tienen fallas por tensión diagonal. La falla más representativa es una falla combinada, por lo que se concluye que a pesar de tener una resistencia de mortero pequeña la falla predominante de los ensayos es una falla combinada, es decir, presenta separación de piezas por la junta y tensión diagonal. En la Tabla 44 se presenta un resumen de los tipos de falla, la cantidad de muretes que presentaron cada falla y el porcentaje que representa de los ensayos realizados. Con lo que se concluye que en sin importar el aparejo y resistencia del mortero la falla que se encontrara es una falla combinada.

Con toda la información recabada hasta el momento referente a la compresión diagonal, como una conclusión general seria que la mampostería combinada tiene un comportamiento aceptable bajo los criterios de las NTC. De acuerdo con lo establecido en el capítulo 12.2.3.2 Resistencia de diseño a compresión diagonal (NTC, 2023), establece una resistencia de diseño a compresión diagonal mínima de 2 kgf/cm^2 para los tipos de pieza que menciona la norma, por lo que se podría decir que los resultados obtenidos en los ensayos cumplen ya que el valor de diseño mínimo encontrado en la presente investigación es de 2.06 kgf/cm^2 perteneciente al aparejo 4, mientras el valor máximo es 7.86 kgf/cm^2 perteneciente al aparejo 1 siendo más de 3.5 veces lo establecido por la normativa, sin embargo cabe mencionar que dentro de la norma establece como tipo de pieza tabique de arcilla y bloque de concreto, por lo que no hay un parámetro comparativo para el block ligero hecho a base de tepetzil que es el que se ocupó en la presente investigación, esto abre un nuevo panorama ya que dentro de la Ciudad de Puebla y comunidades colindantes el block ligero es el más utilizado, motivo por el cual Puebla podría crear sus propias normativa que abarque las piezas utilizadas en la zona y de este modo dejar de depender lo que establece las normativas de la Ciudad de México, que si bien no están mal ya que se establecieron de acuerdo a las investigaciones que llevaron a cabo con esos tipos de pieza, Puebla puede aumentar o actualizar para los tipos de pieza utilizados en la zona.

V.2.- Pilas

V.2.1.- Resistencia a compresión

De los resultados presentados en el CAPITULO IV.- ENSAYE DE PILAS A COMPRESIÓN, se obtuvo la resistencia a compresión, relación Carga – Desplazamiento, relación Esfuerzo – Deformación, módulo de elasticidad y tipos de fallas presentada en cada tipo de aparejo. Con esta información recabada es necesario compararlos para encontrar como es la variación de aparejo que son 100 % de un solo material con aquellos que varían la densidad.

Tabla 45 Resistencia a compresión y resistencia de mortero por aparejo (Autoría propia, 2024)

		$\bar{f}_j$	$\bar{f}_m$	c_m
	Porcentaje de material	kgf/cm ²	kgf/cm ²	
Aparejo 1	100% Block	98.47	37.32	0.22
Aparejo 2	61% Block – 39% Tabique	104.68	44.07	0.10
Aparejo 3	29% Block – 71% Tabique	83.59	40.78	0.05
Aparejo 4	100% Tabique	66.50	37.81	0.24

En la Tabla 45 se presenta un concentrado de las resistencias a compresión y resistencia del mortero para cada tipo de aparejo. De acuerdo con la Tabla 45 la resistencia a compresión máximo pertenece al aparejo 2 (61% Block – 39% Tabique), mientras que el menor es del aparejo 1 (100% Block). El aparejo 4 (100% Tabique) y el aparejo 1 tiene resistencias a cortante cercanas entre sí. En esta investigación el mejor caso es el aparejo 2, se considera que esto se debe al acomodo de las piezas, al tipo de material sobre el que se aplica la carga y a la resistencia a compresión del mortero, lo que da a entender que la configuración del aparejo 2 seria lo mejor en la elaboración de muros, pero eso no quiere decir que las demás configuraciones no se puedan ocupar.

Se puede observar que la resistencia del mortero no tiene influencia, ya que un mortero de baja calidad como la del aparejo 4 se obtuvo mayor resistencia que la del aparejo 1 que tiene un mejor mortero, por lo que se concluye que la resistencia a compresión depende más de las piezas que del mortero.

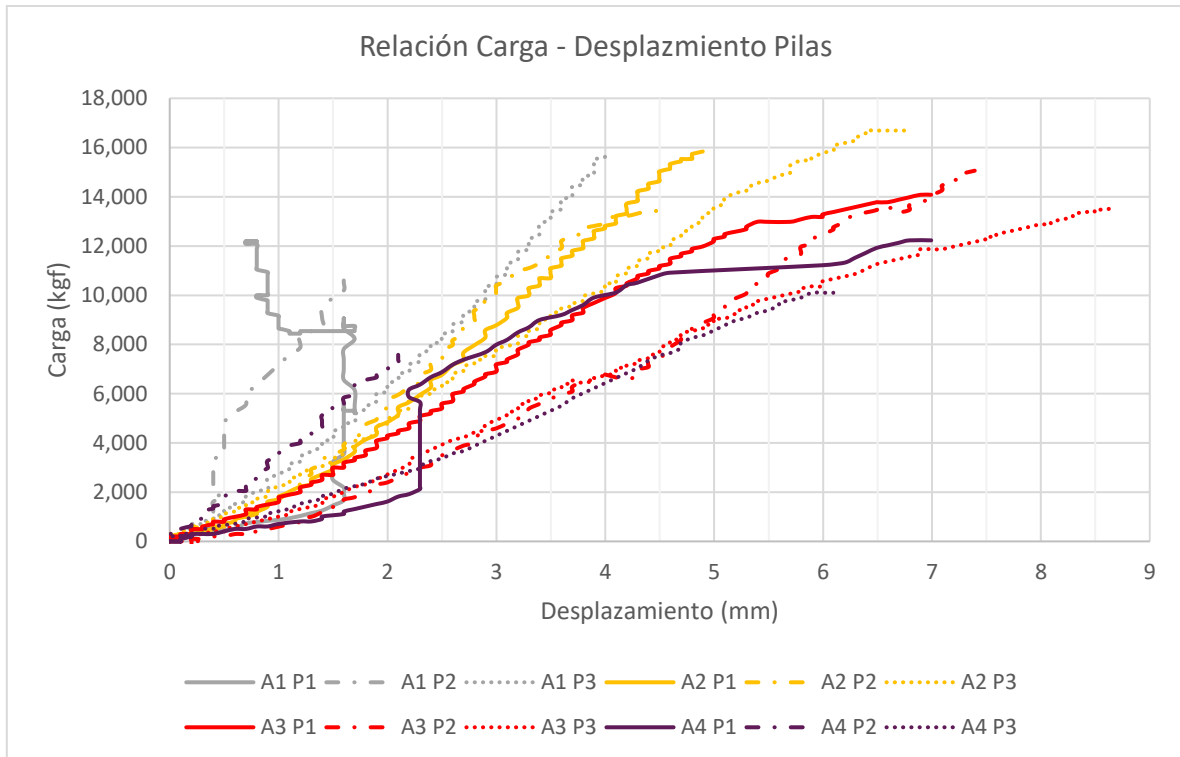


Figura 78 Relación Carga-Desplazamiento pilas (Autoría propia, 2024)

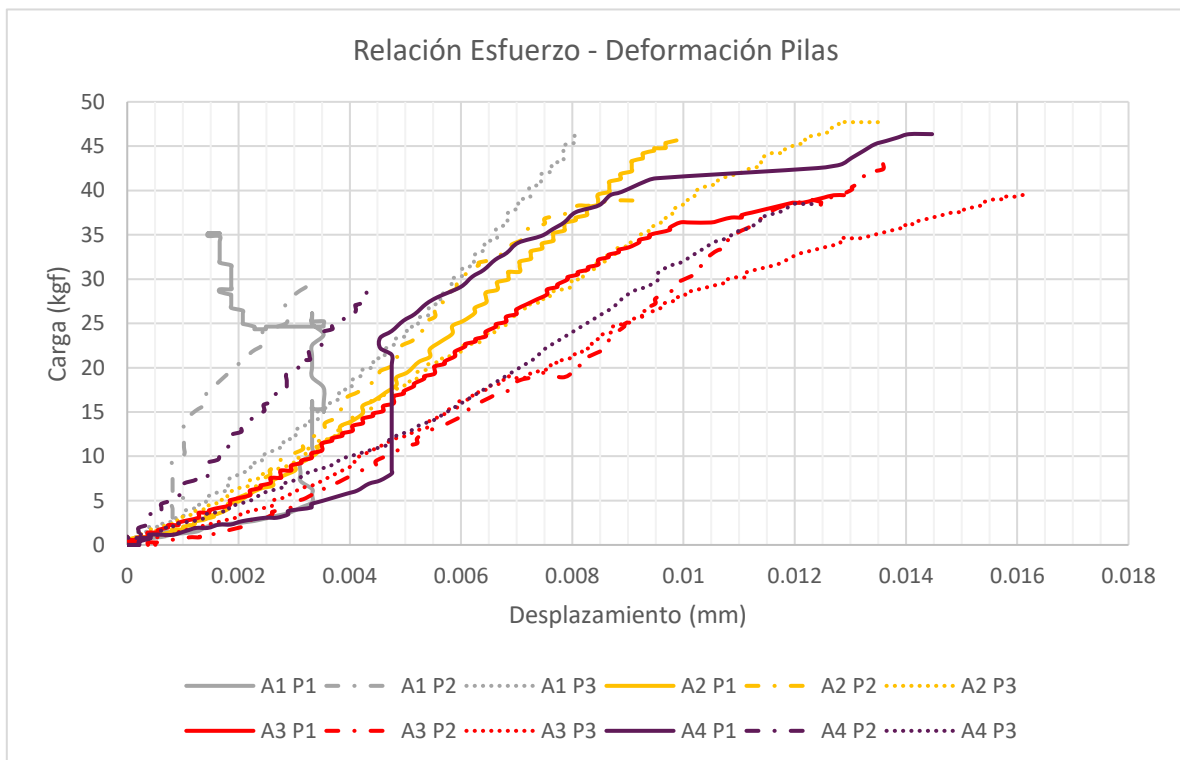


Figura 79 Relación Esfuerzo - Deformación pilas (Autoría propia, 2024)

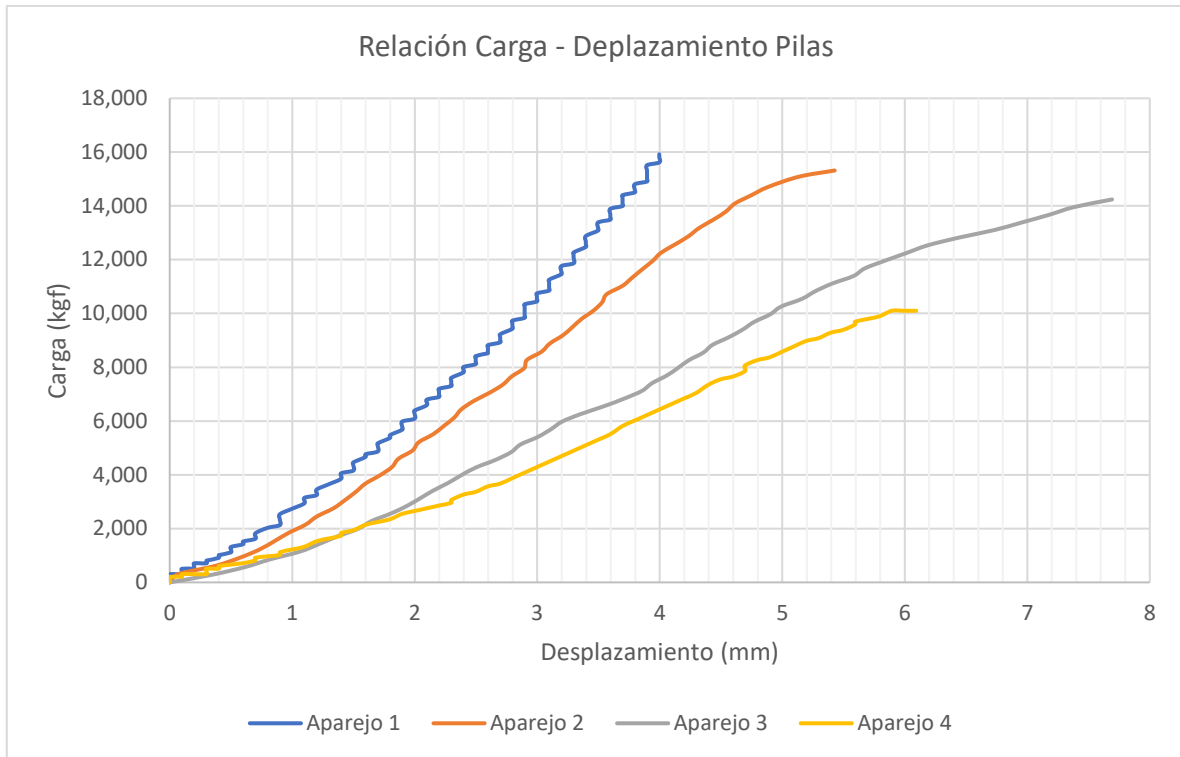


Figura 80 Relación Carga - Desplazamiento por aparejo (Autoría propia, 2024)

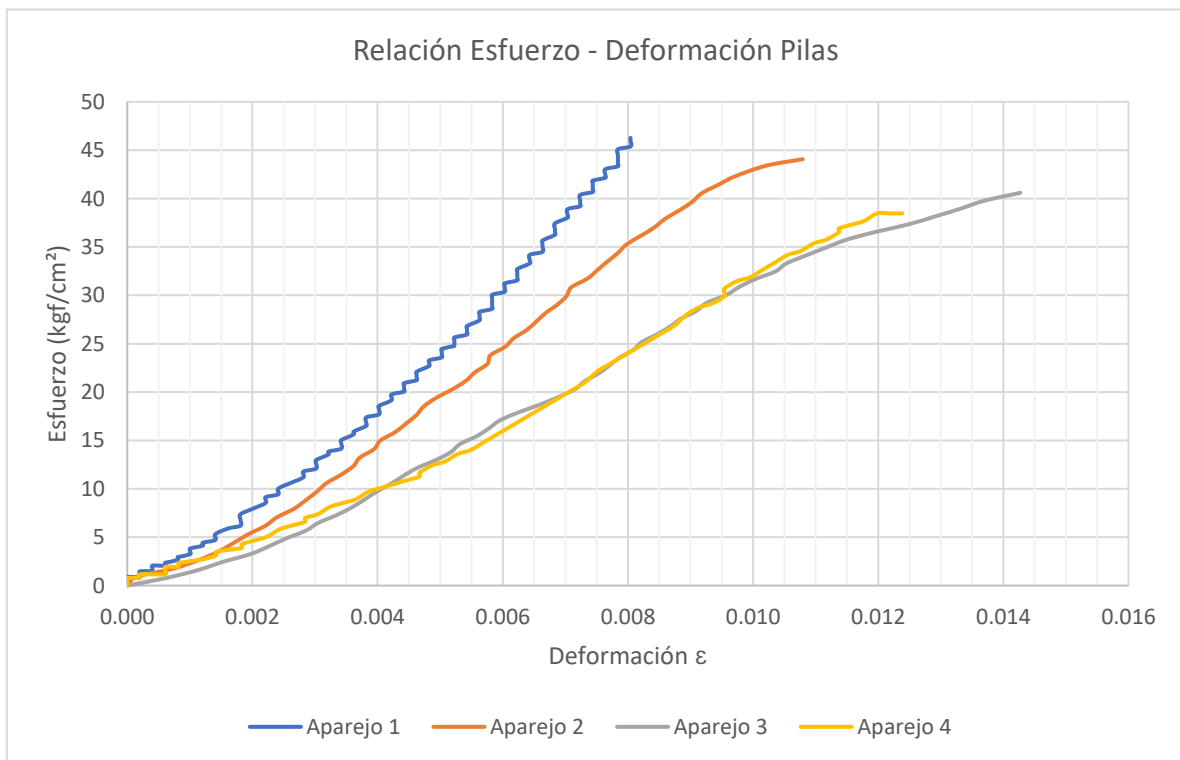


Figura 81 Relación Esfuerzo - Deformación por aparejo (Autoría propia, 2024)

La Figura 78 presenta la relación Carga – Desplazamiento y en la Figura 79 la relación Esfuerzo – Deformación, donde se concentran los ensayos de cada pila por aparejo.

En las gráficas se pueden observar comportamientos muy similares como A3 P2, A3 P3 y A4 P3, A2 P3 y A3 P1, A1 P3, A2 P1 y A1 P2. Esto se debe a él aparejo 1 y 2 son lo que tienen más block, mientras que 3 y 4 son lo que tienen más tabique, por lo que se concluye que el comportamiento de las piezas depende de la densidad de material que se tiene la pila y el tipo de material sobre el que se aplica la carga.

El análisis general que ha realizado hasta el momento en fue por pila de aparejo, pero como se mencionó en el Capítulo IV.2.- Resistencia a compresión y tipo de falla cuando se presentaron los resultados de los ensayos, se eliminarían relaciones para así obtener promedios representativos del comportamiento general del aparejo. En la Figura 80 se presenta la relación Carga – Desplazamiento de cada aparejo, mientras en la Figura 81 se muestra la relación Esfuerzo – Deformación. De lo que se puede apreciar es que tanto el aparejo 3 como el aparejo 4 tienen el mismo comportamiento, así como el aparejo 1 y el aparejo 2 tienen a parecerse un poco, y de acuerdo con lo menciona en el párrafo anterior los comportamientos similares dependen principalmente sobre el tipo de material sobre el que se aplica la carga.

V.2.2.- Módulo de elasticidad

A partir de la relación Esfuerzo – Deformación (Figura 79) se obtuvo el módulo de elasticidad para cada murete por aparejo, por lo cual en la Tabla 46 se presenta el módulo de elasticidad promedio de cada aparejo, así como el coeficiente de variación que hay entre los valores obtenidos. Como se indicó en el Capítulo IV.2.- Resistencia a compresión y tipo de falla los valores obtenidos son representativos para poder realizar una comparativa entre los aparejos.

Tabla 46 Módulo de elasticidad por aparejo (Autoría propia, 2024)

	$\bar{f}_j$	$\bar{E}_m$	
	kgf/cm ²	kgf/cm ²	
Aparejo 1	98.47	5,469.98	-
Aparejo 2	104.68	4,829.11	0.21
Aparejo 3	83.59	3,535.20	0.18
Aparejo 4	66.50	3,007.30	-

Como se puede observar en la Tabla 46 el que cuenta con el módulo de elasticidad más grande es el del aparejo 1, seguido del aparejo 2, posteriormente el aparejo 3 y por último el aparejo 4. Esto nos quiere decir que el aparejo 1 presenta una mayor oposición a deformarse mientras que el aparejo 4 es más flexible; esto ayudara al calculista a tomar una decisión de que quiere al momento de diseñar, un material que se deforma más que otro, pero sacrificando la resistencia.

Como se puede observar el mortero afecta en menor manera el $\bar{E}_m$ ya que el que tiene mayor $\bar{f}_j$ no es precisamente el que tiene el mayor $\bar{E}_m$, por lo que se concluye que lo que afecta es la densidad de los materiales y el tipo de material sobre el que se aplica la carga.

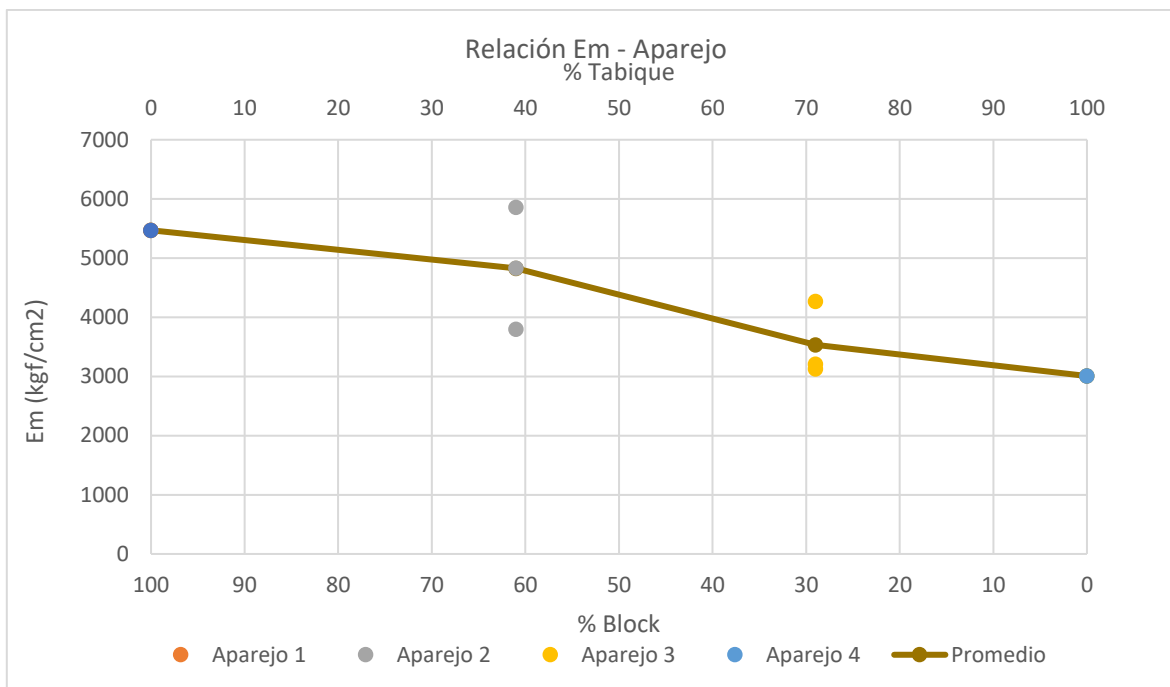


Figura 82 Relación módulo de elasticidad vs aparejo (Autoría propia, 2024)

De acuerdo con lo anterior y para ver de mejor manera el comportamiento del módulo de elasticidad respecto al aparejo y de la Tabla 46 se presenta la Figura 82, se observa como conforme disminuye el porcentaje de block también disminuye el módulo de elasticidad, por lo que tiene un comportamiento lineal, concluyendo que un muro de block tiene mayor módulo de elasticidad y el menor es de tabique, y al combinar estos materiales fluctúa entre 100% de block y 100% de tabique.

V.2.3.- Deformación

De la Figura 79 se puede obtener el esfuerzo y la deformación máxima a la falla para cada murete de cada aparejo, estos valores se representaron en la Tabla 47 y en la Figura 83.

De acuerdo con la Tabla 47 la menor deformación pertenece a A1 P1, mientras el valor más grande corresponde a A3 P3, así mismo no está ligado con el esfuerzo más pequeño y grande respectivamente, ya que el esfuerzo menor le corresponde a A4 P2 y el máximo a A2 P3, con esto se concluye que el aparejo que tiene menor deformación es el aparejo 1 y el que tienen mayor deformación es el aparejo 4.

Tabla 47 Deformación y esfuerzo máximo por pila de aparejo (Autoría propia, 2024)

		Deformación	Esfuerzo
		ϵ	kgf/cm ²
Aparejo 1	Pila 1	0.0017	35.16
	Pila 2	0.0033	30.51
	Pila 3	0.0080	46.28
Aparejo 2	Pila 1	0.0099	45.65
	Pila 2	0.0091	38.87
	Pila 3	0.0136	47.71
Aparejo 3	Pila 1	0.0129	39.46
	Pila 2	0.0138	43.26
	Pila 3	0.0162	39.60
Aparejo 4	Pila 1	0.0145	46.36
	Pila 2	0.0043	28.60
	Pila 3	0.0124	38.47

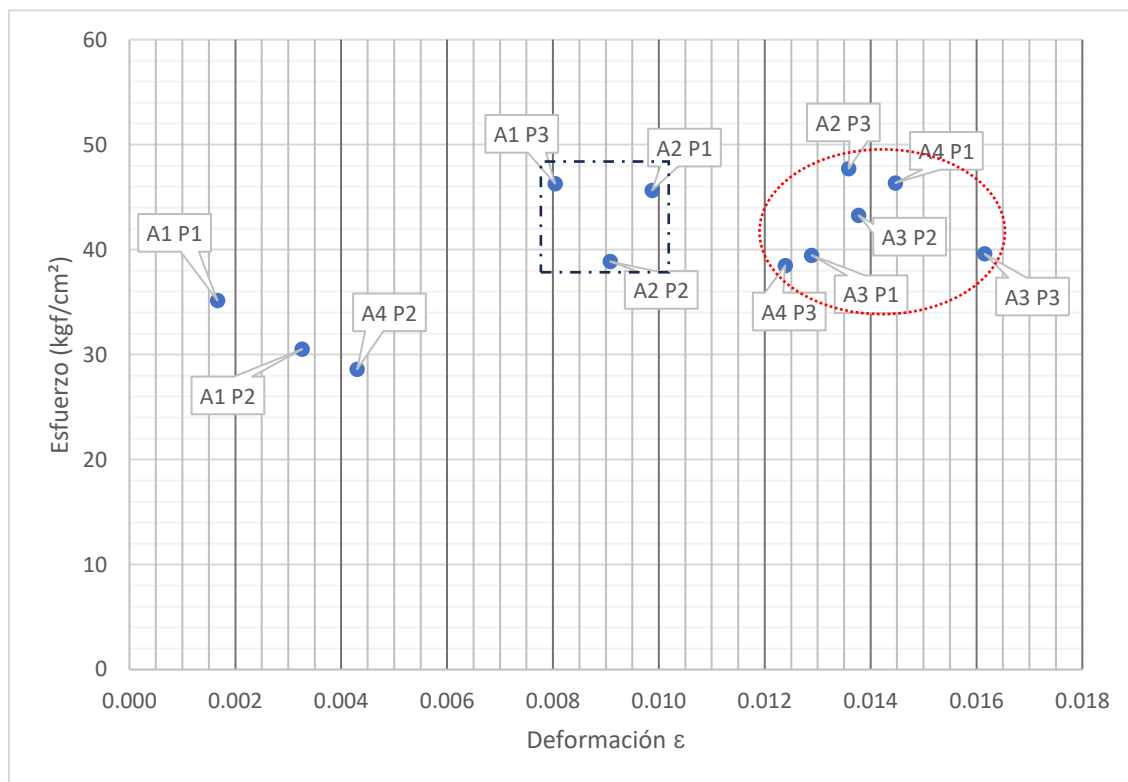


Figura 83 Deformación y esfuerzo máximo por murete (Autoría propia, 2024)

De la Figura 83 se observa dos concentraciones de esfuerzos y deformaciones la primera esta delimita con un cuadrado entre los valores de 0.008 - 0.010 y 38 kgf/cm²-46.5 kgf/cm², el

segundo está delimitado por un ovalo entre los valores 0.012 – 0.0165 y 38 kgf/cm² - 48 kgf/cm². Para el caso de A4 P2 es mayor a 0.003 que es el valor de deformación teórico de la mampostería e incluso A1 P2. Los valores de A1 P1 y A1 P2 son los que tuvieron problemas durante el registro del ensaye por eso no se mencionan de manera significativamente. De aquí se puede concluir que los aparejos 3 y 4 son los que comparten el mismo rango de deformación y esfuerzo, por lo que serían las mejores opciones para construir muros que trabajen a compresión; eso no quiere decir que los otros casos no puedan utilizar

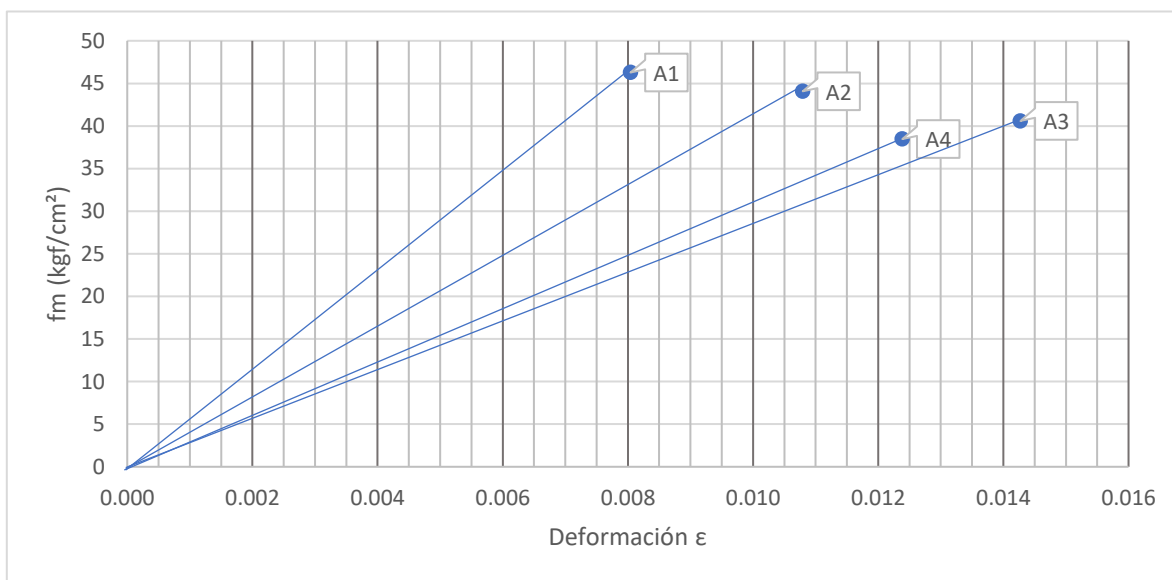


Figura 84 Esfuerzo a compresión y deformación por aparejo (Autoría propia, 2024)

De la Figura 81 se extrae solo la información del esfuerzo máximo y deformación la cual se representa en la Figura 84, donde se puede ver con mayor claridad que las deformaciones están por delante de 0.008 y con esfuerzos mayores a 35 kgf/cm², aquí se puede ver con mayor claridad lo mencionado en el párrafo anterior, que si se busca diseñar con mayor deformación a compresión se utiliza el aparejo 3 y 4.

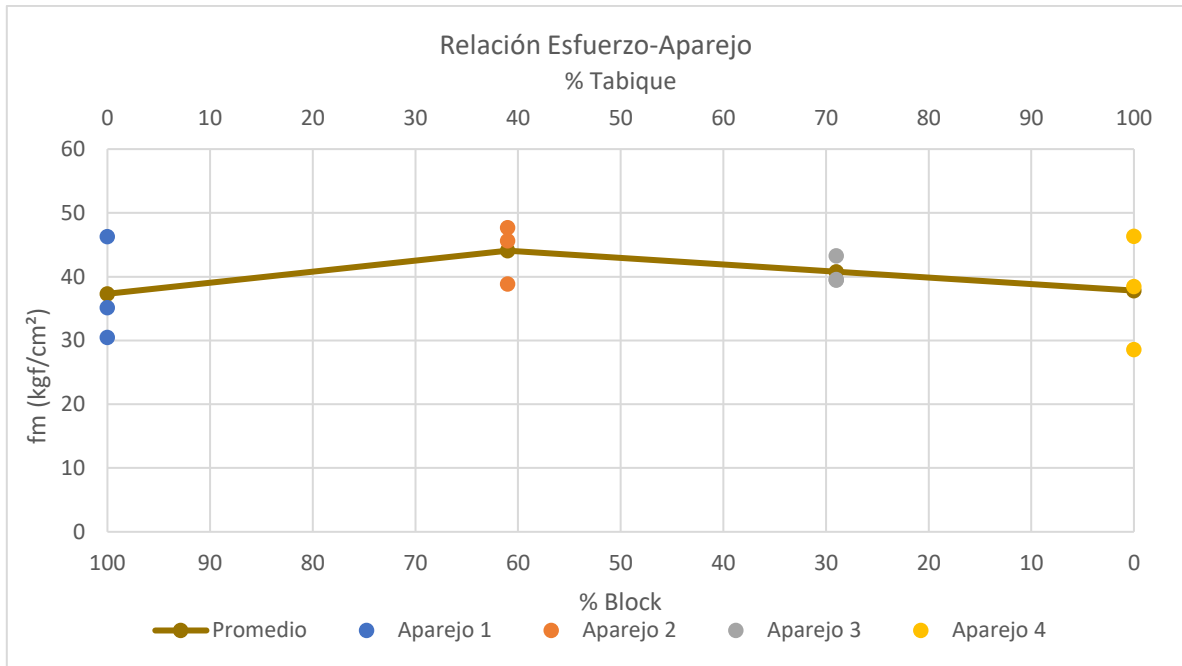


Figura 85 Relación Esfuerzo a compresión - Aparejo (Autoría propia, 2024)

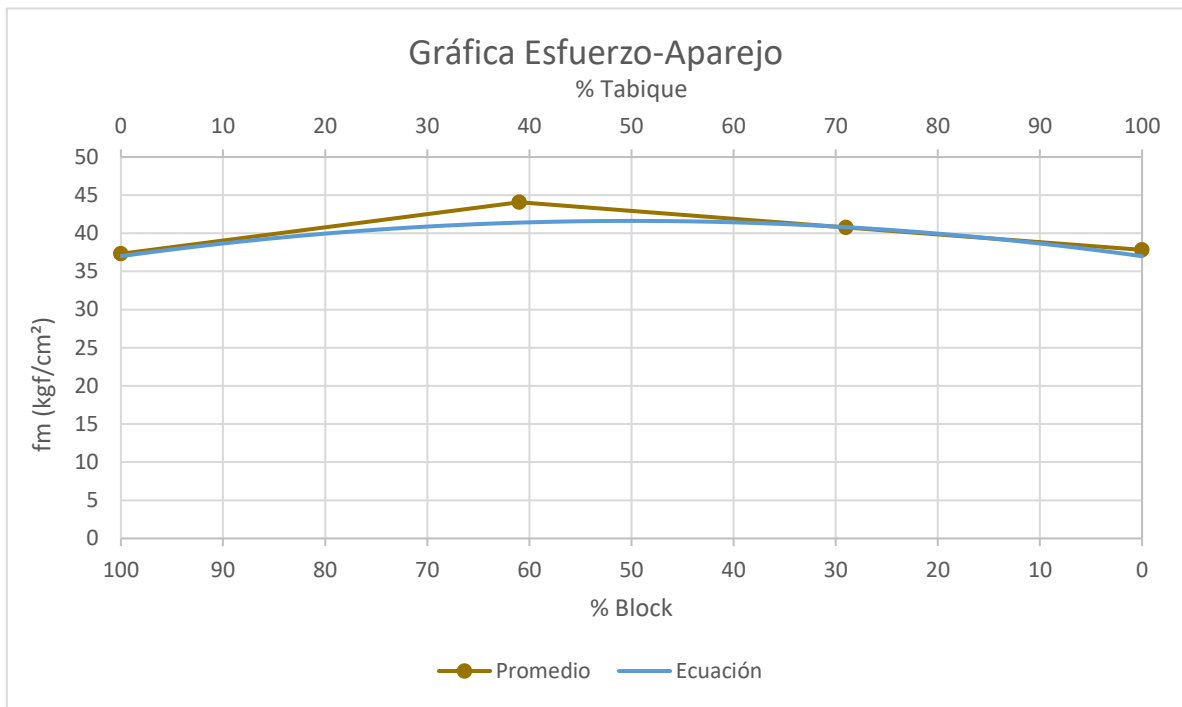


Figura 86 Relación Esfuerzo a compresión - Aparejo, Promedio vs Ecuación (Autoría propia, 2024)

En la Figura 85 se presenta la relación Esfuerzo – Aparejo donde en el eje inferior está representado por el porcentaje de block, en el eje superior está el porcentaje de tabique y en el eje vertical representa el esfuerzo a compresión. Se puede ver cómo es la distribución de

los resultados de los muretes para cada aparejo, así como el promedio de cada uno de estos unidos con una línea, también en como al aumentar el porcentaje de tabique y reducir el de block la resistencia aumenta en un 18% respecto al aparejo 1 y al continuar aumentando tabique y disminuir block la resistencia baja de nuevo y al llegar al que es puro tabique la resistencia es similar al que es 100% block. Se puede ver una tendencia más lineal pero aun así se podría interpretar como una pequeña curva, por lo que al igual que en el caso de los muretes se puede obtener una ecuación que lo represente de mejor manera. Para fines prácticos conviene tenerlo como margen de seguridad e ignorar esta ganancia.

Al igual que en el capítulo V.1.- Muretes se obtuvo una ecuación que describiera de mejor manera la tendencia de los muretes, también se realizó lo mismo para el caso de las pilas, la Ecuación 16 representa el comportamiento de las pilas:

Ecuación 16

$$\overline{f_m} = -\frac{37}{20000}x^2 + \frac{27}{200}x + 37$$

Donde

- $\overline{f_m}$ es la resistencia promedio a compresión en kgf/cm²
- x es el porcentaje de block de un muro

Con esta ecuación se pueden calcular la resistencia promedio de un muro que tenga alguna combinación de materiales, como los de la presente investigación, ya sea para alguna revisión o para algún diseño (Figura 86).

Con toda la información recabada hasta el momento se concluye que la mampostería combinada tiene un buen comportamiento a compresión. De acuerdo con lo establecido en el capítulo 2.8.1.4 A partir de la resistencia de diseño de las piezas y el mortero (NTC, 2023), establece una resistencia de diseño a compresión mínima para piezas con $f'_p = 60 \text{ kg/cm}^2$ y mortero tipo II de 20 kgf/cm² y del capítulo 12.2.3.1 Resistencia de diseño a compresión (NTC, 2023), donde establece una resistencia a compresión mínima de 15 kgf/cm² para los tipos de pieza que menciona la norma (excepto para el tabique de arcilla extruidos), por lo que se podría decir que los resultados obtenidos en los ensayos cumplen ya que el valor de

diseño mínimo encontrado en la presente investigación es de 23.81 kgf/cm² perteneciente al aparejo 1, mientras el valor máximo es 36.01 kgf/cm² perteneciente al aparejo 2 siendo más de 2.4 veces lo establecido por la normativa, sin embargo cabe mencionar que dentro de la norma establece como tipo de pieza tabique de arcilla y bloque de concreto, por lo que no hay un parámetro comparativo para el block ligero hecho a base de tepetzil que es el que se ocupó en la presente investigación, esto abre un nuevo panorama ya que dentro de la Ciudad de Puebla y comunidades colindantes el block ligero es el más utilizado, motivo por el cual Puebla podría crear sus propias normativa que abarque las piezas utilizadas en la zona.

Conclusiones

En México las construcciones de mampostería son las que abarcan la mayor cantidad de construcciones, siendo principalmente las destinadas para la vivienda, ante el gran crecimiento poblacional en el país y desproporcionado, se genera la necesidad de continuar construyendo viviendas, a partir de esto se generan nuevas formas de construcción y materiales que permitan ahorrar en tiempo y dinero, motivo por el cual una solución a esto fue la generación de la mampostería combinada. Muy ligado a esto se encuentra la autoconstrucción, que es donde mayormente proliferan estos casos.

La mampostería combinada ha tenido un auge creciente en los últimos años, principalmente en los estados de Puebla, Tlaxcala, Oaxaca, Estado de México, así como en otros estados de la república, lo que ha motivado a realizar investigaciones de este tipo de mampostería, ya que las zonas donde se construye son sísmicas, por lo que motiva realizar ensayos que permitan conocer las características de la mampostería que se usa.

A partir del estudio experimental se obtuvieron las siguientes conclusiones:

La resistencia de los morteros utilizados tanto para pilas como para muretes se encuentran en el rango de mortero Tipo III estando en el rango de 110 kgf/cm^2 y 60 kgf/cm^2 , exceptuando unos casos donde se considera Tipo II, donde a pesar de tener resistencias pequeñas los resultados obtenidos de los elementos se encuentran en un rango admisible. Estas resistencias obtenidas afectan de forma directa el resultado de los ensayos, así como también los tipos de fallas que se presentan en las probetas.

El block de concreto ligero o block de tepetzil no se encuentra dentro de las normas actuales, por lo que es necesario realizar una investigación más profunda acerca de este tipo de material, ya que es muy común en la zona conurbana del estado de Puebla y Tlaxcala.

De acuerdo con el análisis de los resultados obtenidos el aparejo que tuvo mejor comportamiento a compresión diagonal fue el aparejo 100% Block, seguido de los aparejos combinados y por último el aparejo 100% Tabique. Esto quiere decir que conforme se disminuye la densidad del block la resistencia disminuye llegando a un punto de inflexión y al seguir reduciendo la cantidad de block aumenta la resistencia. Para describir de mejor

manera este comportamiento se elabora la Ecuación 15, la cual permite calcular la resistencia a compresión diagonal de acuerdo con la densidad block que un muro puede tener, siempre y cuando este elaborado con materiales de la presente tesis.

Para el caso de aparejos a compresión el que tuvo mejor comportamiento fue el aparejo 61% Block – 39% Tabique y el peor el aparejo 100% Block. Pero esto no quiere decir que no se deben tomar en cuenta para el diseño. Para describir de mejor manera este comportamiento se elabora la Ecuación 16, la cual permite calcular la resistencia compresión de acuerdo con la densidad block que un muro puede tener, siempre y cuando este elaborado con materiales de la presente tesis.

Al realizar una combinación de materiales para obtener la resistencia a compresión diagonal, las deformaciones se mantienen en los mismos rangos, no es así en el caso de resistencia a compresión en la cual al realizar una combinación las deformaciones aumentan.

De lo mencionado con anterioridad y de acuerdo con las pruebas realizadas lo ideal sería construir a base de block, ya que tiene mejor resistencia a compresión diagonal y una buena deformación, es el que cuenta con el mejor módulo de cortante, al igual que con el mejor módulo de elasticidad y si bien tiene la menor resistencia a compresión esta sigue siendo bastante buena y se encuentra dentro de los rangos de los otros casos.

El estado de Puebla podría crear sus propias normas de mampostería, en base a los materiales que se ocupan en la zona y así dejar de depender de las normativas de la CDMX.

Si bien esta investigación da a entender que los elementos contruidos combinando materiales tiene un buen comportamiento siempre y cuando estos estén correctamente contruidos, falta replicar lo mismo para elementos tipo muro y realizar más pruebas con otros aparejos o con otro tipo de combinación de materiales.

Bibliografía

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (3 de Febrero de 2023). *INEGI*. Obtenido de www.inegi.org.mx:
https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2023/EAP_Vivienda.pdf
- Juárez Ángeles, A. (2008). Mecanismos de resistencia y deformación de muros de mampostería combinada y confinada. *Tesis de maestría*. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Distrito Federal. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11191/5713>
- Meli Piralla, R. (1971). *Propiedades mecánicas de la mampostería*. Distrito Federal: Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de México.
- NTC. (2023). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*, 119.
- ONNCCE. (2010). Industria de la Construcción - Mampostería - Determinación de la Resistencia A Compresión Diagonal y Módulo de Cortante de Muretes, Así Como Determinación de la Resistencia A Compresión y Módulo de Elasticidad de Pilas de Mampostería de Arcilla o Con. *Diario Oficial de la Federación*, 23.
- ONNCCE. (2012). Industria de la Construcción - Mampostería - Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural- Especificaciones y Métodos de Ensayo. *Diario Oficial de la Federación*, 16.
- ONNCCE. (2013). Industria de la Construcción - Mampostería - Determinación de las Dimensiones de Bloques, Tabiques O ladrillos y Tabicones - Método de Ensayo. *Diario Oficial de la Federación*, 6.
- ONNCCE. (2013). Industria de la Construcción - Mampostería - Resistencia a la Compresión de Bloques, Tabiques O ladrillos y Tabicones y Adoquines - Método de Ensayo. *Diario Oficial de la Federación*, 9.
- ONNCCE. (2014). Industria de la Construcción - Mampostería - Mortero para Uso Estructural - Especificaciones y Métodos de Ensayo. *Diario Oficial de la Federación*, 21.
- ONNCCE. (2015). Industria de la Construcción - Cementantes Hidráulicos - Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cementantes Hidráulicos. *Diario Oficial de la Federación*, 11.
- Salinas Vallejo, V. H. (2009). Comportamiento ante cargas laterales de muros de mampostería combinada unidos con morteros utilizados en la autoconstrucción. *Tesis de maestría*. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Distrito Federal. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11191/5713>
- Tena Colunga, A., & Miranda, E. (2002). Comportamiento mecánico de la mampostería. En S. M. Estructural, *Edificaciones de mampostería para vivienda* (págs. 103-130). Distrito Federal: Fundación ICA, A.C.

Anexos

Ecuación para resistencia a compresión diagonal

La ecuación fue obtenida mediante la ecuación de una parábola a partir de la Figura 76, como se mencionó el promedio tiene una tendencia curva, por lo que el que interpreta el mejor comportamiento es una parábola. A partir de la ecuación de la parábola dada por $(x - h)^2 = 4p(y - k)$, donde h y k son los puntos del vértice y p es la distancia del foco al vértice, por lo tanto, del promedio podemos proponer el vértice de la parábola como $(21, 3.94)$ tomando como referencia el eje inferior, de esta manera ya se conocen los valores de h y k y pudiendo sustituir en la ecuación de la parábola quedando de la siguiente manera $(x - 21)^2 = 4p(y - 3.94)$, se sabe también se desea que cuando x es igual a 100 y es 11.02, por lo tanto $(100 - 21)^2 = 4p(11.02 - 3.94)$, donde despejando p se obtiene que es igual a 220.37, al tener un decimales lo ideal sería que fuera un número entero por lo que se propone 220 siendo este un múltiplo de 5 y tener un valor más exacto, sustituyendo p en la ecuación de la parábola y despejando y la ecuación queda de la siguiente manera $y = \frac{x^2}{880} - \frac{21x}{440} + \frac{391}{88}$, en la Figura 87 se presenta la relación de la ecuación respecto al promedio, donde se puede observar que tiene bastante similitud, sin embargo, entre el 10% y el 50% se encuentra por arriba del promedio y de igual manera después del 95%, por lo que se modificó la ecuación dada hasta que se pareciera lo más posible. Se sabe que la ecuación tiene la forma $ax^2 + bx + c$, donde a nos dice que tan ancho es el gráfico, entre el valor de a se acerque a cero más ancho será el gráfico, el valor de b nos ayuda a predecir el eje de simetría, mientras c nos dice dónde se intercepta con el eje y . Conociendo esto se realizaron algunas interacciones donde finalmente la ecuación que se obtuvo fue la siguiente:

$$\overline{v_m} = \frac{1}{880}x^2 - \frac{1}{20}x + \frac{22}{5}$$

Donde:

- $\overline{v_m}$ es la resistencia a compresión diagonal en kgf/cm².
- x es el porcentaje de block que se obtiene de un muro.

En la Figura 88 se observa como ambas relaciones son bastante similares solo un pequeño tramo se encuentra por encima del promedio y en otro tramo se encuentra por debajo, pero de esta forma se tiende a ser un poco conservador respecto a los resultados. Para por utilizar la ecuación se tiene por ejemplo lo siguiente: se tiene un muro con 80% de block el esfuerzo para ese % de tabique se obtiene sustituyendo x quedando de la siguiente forma $\frac{1}{880} (80)^2 - \frac{1}{20} (80) + \frac{22}{5}$, dando un valor de 7.67 kgf/cm^2 , este valor sería el promedio que se ingresa en la ecuación que obtiene la resistencia a compresión de diseño, quedando $\frac{7.67 \text{ kg/cm}^2}{1+2.5(0.20)}$ que da como resultado un $v_m^* = 5.11 \text{ kg/cm}^2$, donde el c_v es igual a 0.20 tomando el caso más desfavorable de la normativa.

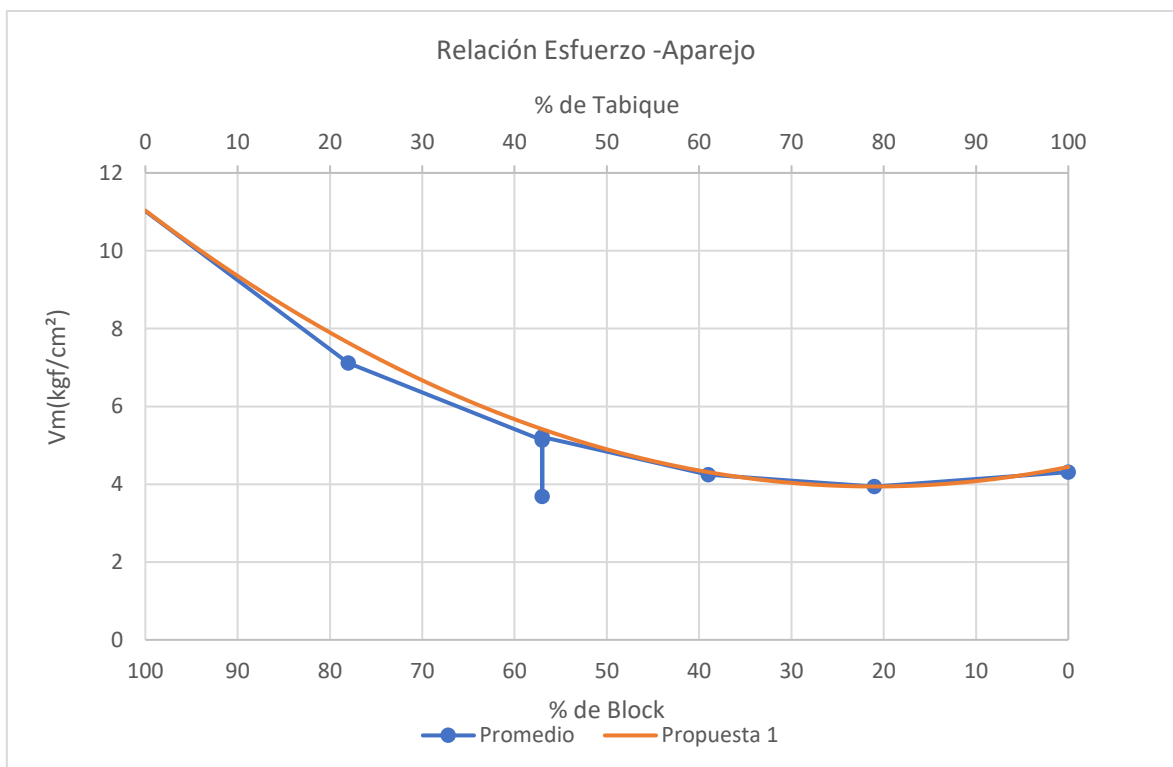


Figura 87 Relación Esfuerzo cortante - Aparejo Propuesta 1 vs Promedio (Autoría propia, 2024)

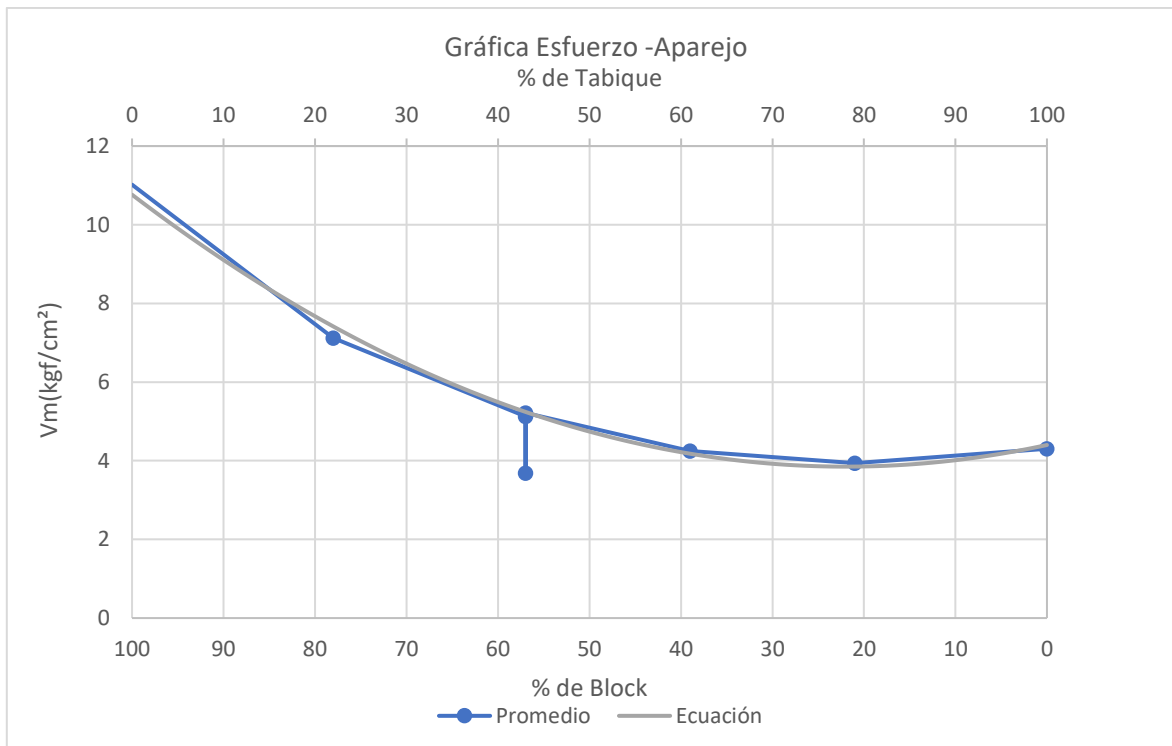


Figura 88 Gráfico Esfuerzo cortante - Aparejo Ecuación vs Promedio (Autoría propia, 2024).

Ecuación para resistencia a compresión

La ecuación fue obtenida mediante la ecuación de una parábola a partir de Figura 76, como se mencionó el promedio tiene una tendencia curva, por lo que el que interpreta el mejor comportamiento es una parábola. A partir de la ecuación de la parábola dada por $(x - h)^2 = 4p(y - k)$, donde h y k son los puntos del vértice y p es la distancia del foco al vértice, por lo tanto, del promedio podemos proponer el vértice de la parábola como $(39, 44.07)$ tomando como referencia el eje inferior, de esta manera ya se conocen los valores de h y k y pudiendo sustituir en la ecuación de la parábola quedando de la siguiente manera $(x - 39)^2 = 4p(y - 44.07)$, se sabe también se desea que cuando x es igual a 0 y es 37.81, por lo tanto $(0 - 39)^2 = 4p(37.81 - 44.07)$, donde despejando p se obtiene que es igual a -140.62, al tener un decimales lo ideal sería que fuera un número entero por lo que se propone 140 siendo este un múltiplo de 5 y tener un valor más exacto, sustituyendo p en la ecuación de la parábola y despejando y la ecuación queda de la siguiente manera $y = -\frac{x^2}{600} + \frac{61x}{300} + \frac{568}{15}$, en la Figura 87 se presenta la relación de la ecuación respecto al promedio, donde se puede observar que el valor de la ecuación se encuentra muy por encima del promedio de los valores por lo que

se modificó la ecuación dada hasta que se pareciera lo más posible. Se sabe que la ecuación tiene la forma $ax^2 + bx + c$, donde a nos dice que tan ancho es el gráfico, entre el valor de a se acerque a cero más ancho será el gráfico, el valor de b nos ayuda a predecir el eje de simetría, mientras c nos dice dónde se intercepta con el eje y . Conociendo esto se realizaron algunas interacciones donde finalmente la ecuación que se obtuvo fue la siguiente:

$$\overline{f_m} = -\frac{37}{20000}x^2 + \frac{27}{200}x + 37$$

Donde:

- $\overline{f_m}$ es la resistencia a compresión en kgf/cm^2 .
- x es el porcentaje de block que se obtiene de un muro.

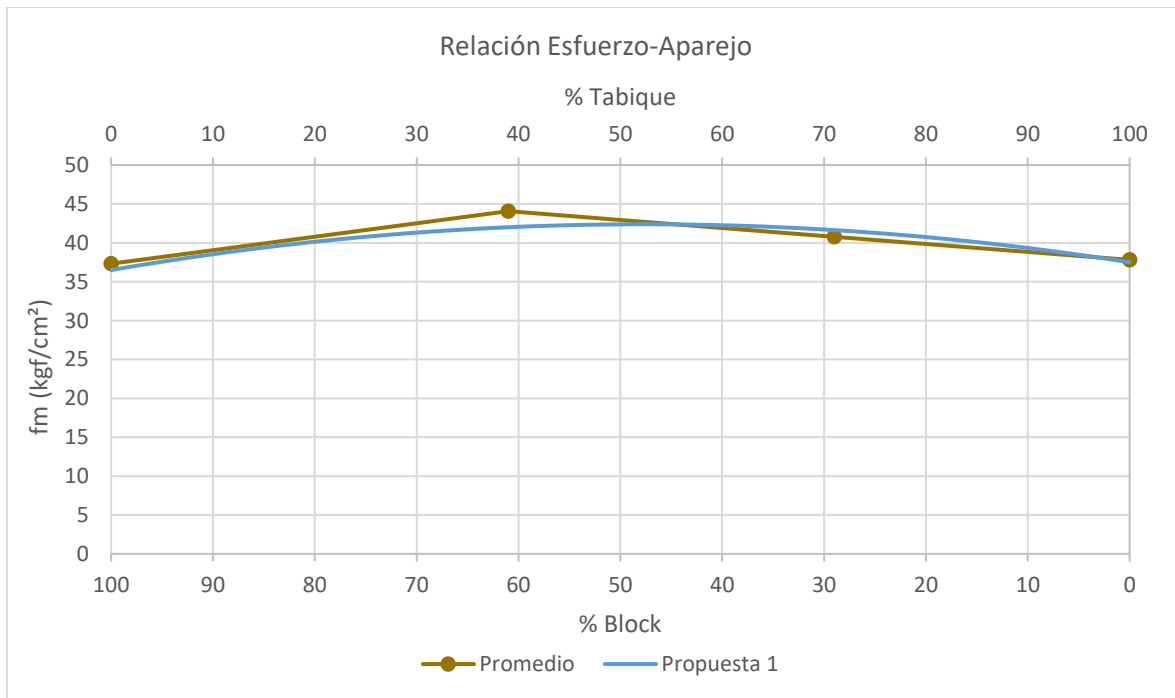


Figura 89 Relación Esfuerzo a compresión - Aparejo Propuesta 1 vs Promedio (Autoría propia, 2024)

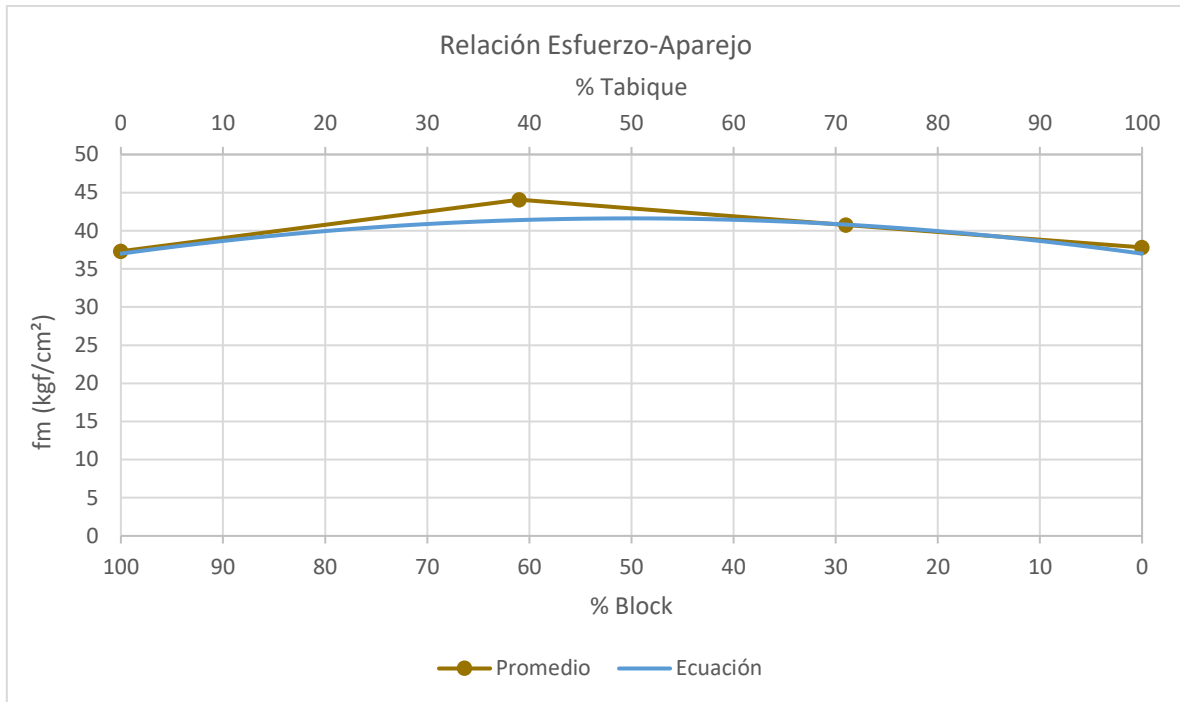


Figura 90 Relación Esfuerzo a compresión- Aparejo Promedio vs Ecuación (Autoría propia, 2024)

En la Figura 90 se observa como ambas relaciones son bastante similares solo un pequeño tramo se encuentra por debajo del promedio, pero de esta forma se tiende a ser un poco conservador respecto a los resultados. Para utilizar la ecuación se tiene por ejemplo lo siguiente: se tiene un muro con 80% de block el esfuerzo para ese % de block se obtiene sustituyendo x quedando de la siguiente forma $-\frac{37}{20000}(80)^2 + \frac{27}{200}(80) + 37$, dando un valor de 39.96 kgf/cm², este valor sería el promedio que se ingresa en la ecuación que obtiene la resistencia a compresión de diseño, quedando $\frac{39.96 \text{ kg/cm}^2}{1+2.5(0.15)}$ que da como resultado un $f_m^* = 29.06 \text{ kg/cm}^2$, donde el c_m es igual a 0.15 tomando el caso más desfavorable de la normativa.