ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA ASOCIADA A LA FALLA POR TRACCIÓN DIAGONAL DE DOS TIPOS DE MAMPOSTERÍA SIMPLE: BLOQUE Y LADRILLO PARA SER USADOS EN MODELOS COMPUTACIONALES.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE INGENIERO CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS.

GABRIELA ROCÍO GUALACATA ANTAMBA
gaby_18jlh@hotmail.com

JOSE JAVIER ORTEGA ZAMBRANO
Jjoz2009@hotmail.com

DIRECTOR: ING. MSC DIEGO SOSA CAIZA
diegososacaiza@gmail.com

Quito, Noviembre 2017

DECLARACIÓN

Nosotros, GABRIELA ROCIO GABRIELA GUALACATA ANTAMBA y JOSE JAVIER ORTEGA ZAMBRANO, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado por ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

_____	_____
Gabriela Rocío	José Javier
Gualacata Antamba	Ortega Zambrano

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por GABRIELA ROCIO GUALACATA ANTAMBA y JOSE JAVIER ORTEGA ZAMBRANO. Bajo mi supervisión.

_____

Ing. Msc Diego Sosa Caiza
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Politécnica Nacional, prestigiosa institución que nos abrió las puertas hacia la senda universitaria y nos dio la oportunidad de moldearnos como profesionales.

Al ingeniero Diego Sosa, el cual se convirtió en nuestra guía para poder desarrollar y concluir este proyecto.

A los ingenieros, quienes a través de sus conocimientos nos proporcionaron lo esencial para proyectarnos en lo laboral. De manera especial agradecemos a los maestros que por momentos dejaron su papel de educadores para relatarnos experiencias de su vida, y así complementarnos en lo personal.

Al Centro de la Investigación de la Vivienda (CIV), por permitirnos desarrollar la parte experimental de este proyecto en sus instalaciones.

A nuestros amigos y compañeros, quienes nos proporcionaron inolvidables instantes de regocijo.

Y en especial a nuestro querido compañero Jefferson Vinueza por su desinteresada colaboración en todo momento requerido.

DEDICATORIA

En cada paso dado he tenido el agrado de contar siempre con mi familia, por lo tanto, este proyecto se lo dedico a mi mami, mi papi, mis hermanos y hermanas, sus ánimos, sus consejos, sus cuidados y su cariño fueron los principales impulsores para poder transitar por este camino y lograr culminarlo.

Al final de la etapa universitaria encontré una persona que con su amor y apoyo logró darme aliento en un momento complicado, gracias Wlady, tu ayuda fue muy importante para poder desarrollar este trabajo.

A mis amigas y amigos, quienes me brindaron inolvidables momentos de risas y camaradería, sus actitudes hacia mí me hicieron ver lo importante de la amistad en todo este camino

GABRIELA ROCÍO GUALACATA ANTAMBA

DEDICATORIA

A mi madre, Mariana Zambrano a quien aún tengo el privilegio de tener junto a mí, y quien se ha hecho presente en cada momento importante de mi vida.
Quien ha estado en cada situación que he tenido que afrontar con palabras amorosas y reconfortantes, no dejándome desmayar.
A mi familia y amigos que de una u otra forma se han hecho notar en mi vida.

JOSE JAVIER ORTEGA ZAMBRANO

CONTENIDO

DECLARACIÓN II
AGRADECIMIENTOS IV
DEDICATORIA V
CONTENIDO VII
LISTA DE FIGURAS XII
LISTA DE TABLAS XIII
LISTA DE FOTOGRAFÍAS XIV
RESUMEN XV
ABSTRACT XVI
PRESENTACIÓN XVII
CAPÍTULO 1 1
INTRODUCCIÓN 1
1.1 ANTECEDENTES 1
1.1.1 HISTORIA 1
1.1.2 MATERIALES DE MAMPOSTERIA 2
1.1.2.1 Mampostería de arcilla 2
1.1.2.2 Mampostería de concreto 2
1.1.2.3 Mortero 3
1.2 ALCANCE 4
1.3 OBJETIVOS 4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL 4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 5

1.4 JUSTIFICACIÓN 5
1.4.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA 5
1.4.2 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA 5
CAPÍTULO 2 7
MARCO TEÓRICO 7
2.1 IMPORTANCIA DE LA MAMPOSTERIA 7
2.2 MAMPOSTERÍA SIMPLE 10
2.2.1 DEFINICIÓN 10
2.2.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TIPOS DE MAMPOSTERIA SIMPLE SEGÚN EL MATERIAL 10
2.2.2.1 Mampostería simple de bloque 11
2.2.2.2 Mampostería simple de ladrillo 12
2.3 BREVE RESEÑA DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL SEISMOSTRUCT 13
2.3.1 CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES 13
2.3.2 ACERCA DE LOS PANELES DE MAMPOSTERÍA 14
2.4 RESISTENCIA A COMPRESIÓN 15
2.4.1 DEFINICIÓN 15
2.4.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA 16
2.4.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN PANEL DE MAMPOSTERÍA DENTRO DE UN PÓRTICO 17
2.4.3.1 Definición 17
2.4.3.2 Comportamiento del panel de mampostería 17
2.4.3.3 Modelo planteado por Bertoldi 19
2.4.4 FALLA POR TRACCIÓN DIAGONAL 27
CAPITULO 3 29

MATERIALES Y ESPECÍMENES **29**

3.1 BLOQUE 29

3.1.1 CLASIFICACIÓN DEL BLOQUE 30

3.2 LADRILLO 31

3.2.1 CLASIFICACIÓN DEL LADRILLO 32

3.2.1.1 Clasificación de ladrillos macizos 32

3.2.1.2 Clasificación de ladrillos huecos 33

3.3 MORTERO 34

3.2.1 PROPIEDADES DEL MORTERO 34

3.2.2.1 Contribución de los materiales del mortero a sus propiedades 36

3.2.2 TIPOS DE MORTEROS 38

3.4 MURETES 38

3.4.1 DEFINICIÓN 38

3.4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MURETES 39

3.4.2.1 Dimensiones del murete 39

3.4.2.2 Requisitos para la construcción del murete 39

3.4.2.3 Tipos de prismas 40

CAPITULO 4 ..... **41**

METODOLOGÍA **41**

4.1 EVALUACIÓN DE MATERIALES 41

4.1.1 BLOQUE 41

4.1.1.1 Dimensiones 42

4.1.1.2 Resistencia a compresión 42

4.1.1.3 Absorción 43

4.1.2 MORTERO 43

4.1.3 LADRILLO 44

4.1.3.1 Variación dimensional 45
4.1.3.2 Resistencia a compresión 48
4.1.3.3 Resistencia a flexión 50
4.1.3.4 Absorción 52
4.2 ENSAYO A COMPRESION DIAGONAL 53
4.2.1 ELABORACION DE MURETES 53
4.2.2 INSTRUMENTACIÓN A USAR. 56
4.2.3 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO. 59
4.3 RECOPILACION DE DATOS 60
4.3.1 RESULTADOS PREVIOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE MURETES DE BLOQUE 60
4.3.2 RESULTADOS PREVIOS OBTENIDOS DE ENSAYO DE MURETES DE LADRILLO 66
4.4 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN 71
4.4.1 MÉTODO EXPERIMENTAL 71
4.4.1.1 Registro de fallas presentadas en los muretes de bloque 71
4.4.1.2 Registro de fallas presentadas en los muretes de ladrillo 76
4.4.1.3 Determinación de la resistencia a corte 80
4.4.1.4 Cálculos y resultados para la resistencia a compresión 84
4.4.2 MÉTODO ANALÍTICO 88
4.4.2.1 Resistencia a compresión en mampostería bloque 89
4.4.2.2 Resistencia a compresión en mampostería de ladrillo 90
CAPITULO 5 92
ANALISIS Y COMPARACION DE RESULTADOS 92
5.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS 92
5.1.1 PROPIEDADES DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA 92

5.1.2 PROPIEDADES DE LAS MAMPOSTERÍAS 92
5.1.3 VALORES EXPERIMENTALES Y VALORES ANALÍTICOS 92
5.1.4 CURVAS OBTENIDAS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN DIAGONAL 93
5.2 ANALISIS DE TIPOS DE FALLA EN ESPECIMENES 94
5.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TIPOS DE MAMPOSTERIA 95
CAPITULO 6 97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 97
6.1 CONCLUSIONES 97
6.2 RECOMENDACIONES 100
BIBLIOGRAFÍA 101
ANEXOS 105

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Comportamiento de una membrana ante esfuerzos 8
Figura 2.2 Representación de la mampostería en 6 bielas. 15
Figura 2.3 Fallo de típica de muros de mampostería 16
Figura 2.4 Relaciones esfuerzo-deformación para el mortero, las unidades y mamposterías..... 17
Figura 2.5 Cargas en el pórtico con mampostería..... 18
Figura 2.6 Modelo de puntal equivalente a compresión 19
Figura 2.7 Agrietamiento en el estado último en mampostería simple 20
Figura 2.8 Fuerza vs Desplazamiento del puntal 23
Figura 2.9 Agrietamiento inducido por la tensión diagonal..... 24
Figura 2.10 Agrietamiento por cizallamiento a lo largo de las juntas de mortero, grietas escalonadas 25
Figura 2.11 Falla debido al aplastamiento de la mampostería en las esquinas de los paneles 26
Figura 2.12 Similitud de la falla en el ensayo de corte (compresión diagonal) y en un sismo. 28
Figura 2.13 Modos de Falla..... 28
Figura 4.1: Dimensiones de unidad de mampostería 46
Figura 4.4 Dimensiones de Especímenes..... 60
Figura 4.5 Carga vs Deformación Murete 1..... 61
Figura 4.6 Carga vs Deformación Murete 2..... 61
Figura 4.7 Carga vs Deformación Murete 3..... 62
Figura 4.8 Carga vs Deformación Murete 4..... 62
Figura 4.9 Carga vs Deformación Murete 5..... 63
Figura 4.10 Carga vs Deformación Murete 6..... 63
Figura 4.11 Carga vs Deformación Murete 7..... 64
Figura 4.12 Carga vs Deformación Murete 8..... 64
Figura 4.13 Carga vs Deformación Murete 9..... 65
Figura 4.14 Carga vs Deformación Murete 10..... 65
Figura 4.15 Carga vs Deformación Murete 1..... 66
Figura 4.16 Carga vs Deformación Murete 2..... 67
Figura 4.17 Carga vs Deformación Murete 3..... 67
Figura 4.18 Carga vs Deformación Murete 4..... 68
Figura 4.19 Carga vs Deformación Murete 5..... 68
Figura 4.20 Carga vs Deformación Murete 6..... 69
Figura 4.21 Carga vs Deformación Murete 7..... 69
Figura 4.22 Carga vs Deformación Murete 8..... 70
Figura 4.23 Carga vs Deformación Murete 9..... 70
Figura 4.25 Ejemplo de pórtico..... 84
Figura 5.1 Carga diagonal vs deformación para muretes de bloque 93
Figura 5.2 Carga diagonal vs deformación para muretes de ladrillo 93

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Parámetros $K1\ y\ K2$ del modelo de Bertoldi 21
Tabla 4.1 Clasificación de Bloques 43
Tabla 4.2 Requisitos de resistencia mecánica y absorción que deben cumplir los ladrillos 45
Tabla 4.4 Ensayo a compresión ladrillo 49
Tabla 4.5 Resultados Resistencia a Flexión 51
Tabla 4.6 Resultados porcentaje de absorción 53
Tabla 4.7 Resultados de resistencia a corte de mamposterías de bloque 82
Tabla 4.8 Resultados de resistencia a corte de mamposterías de ladrillo 83
Tabla 5.1 Comparación de resultados de unidades 92
Tabla 5.2 Comparación de resultados de mamposterías 92
Tabla 5.3 Comparación de resultados de resistencia a compresión por tracción diagonal 92
Tabla 5.4 Tipos de fallas en muretes de bloque 94
Tabla 5.5 Tipos de fallas en muretes de ladrillo 94

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 4.1 Lote de Bloques 41
Fotografía 4.2 Moldeado de ladrillos, fabricación artesanal 44
Fotografía 4.3 Lote de Ladrillos 45
Fotografía 4.4 Muestras de Ladrillos, divididos en 2 y refrentados 48
Fotografía 4.5 Ensayo a compresión 49
Fotografía 4.6 Ensayo a Flexión 51
Fotografía 4.7 Ladrillos sumergidos en agua 52
Fotografía 4.8 Ingreso de ladrillos en el horno para secado 52
Fotografía 4.9 Especímenes de mampostería de bloque 54
Fotografía 4.10 Especímenes de mampostería de ladrillo 55
Fotografía 4.11 Especímenes cubiertos de polietileno 55
Fotografía 4.12 Refrentado de esquinas de muretes 56
Fotografía 4.13 Marco de carga 56
Fotografía 4.14 Cilindro Hidráulico de doble acción capacidad de 100 T 57
Fotografía 4.15 Celda de Carga capacidad de 20 T 57
Fotografía 4.16 Cabezal 57
Fotografía 4.17 UPM para registro de datos. 58
Fotografía 4.18 Bomba Hidráulica capacidad 10000 Psi 58
Fotografía 4.19 LVDT mide desplazamientos 58
Fotografía 4.20 Computadora para registro de datos 59
Fotografía 4.20 Forma de colocación del murete en la máquina de ensayo 60
Fotografía 4.21 Falla espécimen No.2 71
Fotografía 4.22 Falla espécimen No.3 72
..... 72
Fotografía 4.23 Falla espécimen No.4 72
Fotografía 4.24 Falla espécimen No.5 73
Fotografía 4.25 Falla espécimen No.6 73
Fotografía 4.26 Falla espécimen No.7 74
Fotografía 4.27 Falla espécimen No.8 74
Fotografía 4.28 Falla espécimen No.9 75
Fotografía 4.29 Falla espécimen No.10 75
Fotografía 4.30 Falla espécimen No.1 76
Fotografía 4.31 Falla espécimen No.2 76
Fotografía 4.32 Falla espécimen No.3 77
Fotografía 4.33 Falla espécimen No.4 77
Fotografía 4.34 Falla espécimen No.5 78
Fotografía 4.35 Falla espécimen No.6 78
Fotografía 4.36 Falla espécimen No.7 79
Fotografía 4.37: Falla espécimen No.8 79
Fotografía 4.38: Falla espécimen No.9 80

RESUMEN

Este proyecto está dirigido a determinar la resistencia a compresión por la falla de tracción diagonal ($f_{m\theta}$), de dos tipos de mampostería simple (bloque y ladrillo), siguiendo la teoría con la que el SeismoStruct contempla el comportamiento de los paneles de albañilería, dicha resistencia es requerida para ser usada en distintas aplicaciones computacionales.

Esta ideología plantea un modelo matemático compuesto de varias variables, la más importante es la resistencia a corte de la mampostería (f'_{ws}), donde se hace énfasis en que su obtención debe ser de forma experimental, lo cual hace necesario el ensayo de compresión diagonal.

Antes de la construcción de los muretes, se determinaron las propiedades de los materiales empleados, siguiendo Norma INEN 3066 para el bloque, la Norma INEN 297 para el ladrillo y para el mortero la Norma INEN 2 518. Los muretes a ensayarse bajo una carga de compresión diagonal cumplen las condiciones que se muestran en la Norma NEC-SE-MP, capítulo 10, y los Comentarios a la Norma Técnica de Edificación E.070 “Albañilería”, capítulo 5. Para el parámetro en estudio se obtuvo además, el módulo de elasticidad de forma experimental para la mampostería (E_m) el cual se determinará con el ensayo de mampostería a compresión axial, y el módulo de elasticidad del hormigón de las columnas (E_c), según la NEC-SE-HM, sección 3.3.

Se ha obtenido la resistencia a compresión de forma analítica basándose en la literatura de Crisafulli.

Todos los valores obtenidos para las propiedades de los mampuestos y muretes (de ladrillo y bloque) fueron comparados, y según esos resultados se ha sugerido el más adecuado para una construcción. Fueron establecidas diferencias entre la resistencia a compresión experimental y analítica.

ABSTRACT

This project is aimed to determine the compressive strength due to diagonal tension ($f_{m\theta}$), of two types of simple masonry (blocks made of concrete and bricks), following the theory with which SeismoStruct contemplates the behavior of masonry panels, the aforementioned strenght is required to be used in several Computer applications.

This ideology proposes a mathematical model composed of several variables, being the most important,the shear strength of the masonry (f'_{ws}), where it is emphasized to be obtained by experimentation; therefore, it makes the test of diagonal compression necessary.

Before the construction of the walls the properties of the materials used were determined following the INEN Standard 3066 for concrete blocks, the INEN Standard 297 for bricks and for mortar the INEN Standard 2518. The walls to be tested under a load of Diagonal compression meet the conditions shown in the NEC-SE-MP Standard, Chapter 10, and the Comments to the Technical Building Rules E.070 "Albañilería", chapter 5. For the parameter under study there was also obtained the modulus of elasticicity (E_m), in an experimental basis for the masonry, which will be determinated with the axial compression masonry test , and the modulus of elasticity of concrete of columns (E_c), according to NEC-SE-HM, section 3.3.

The compressive strenght was obtained analytically based on the literature of Crisafulli.

All the values obtained for the properties of Masonry components and wall samples were compared, according to these results, the most suitable values for a construction has been suggested. Differences were established between experimental and analytical compression strength.

PRESENTACIÓN

Los capítulos del presente proyecto se dividen de la siguiente manera:

El primer Capítulo, presenta una introducción de manera breve sobre lo que va a tratar el proyecto, los objetivos y justificación del mismo.

El segundo Capítulo, encierra los antecedentes como tipos de mamposterías y a su vez toda la teoría para llevar a cabo el proyecto.

El tercer capítulo, abarca los materiales que fueron usados y los especímenes construidos.

El cuarto Capítulo, describe los ensayos previos realizados, los ensayos a compresión diagonal y la recopilación de datos, a su vez la determinación experimental de la resistencia a compresión.

El quinto Capítulo, contiene la comparación de resultados, un análisis de las fallas presentadas y la presentación de las ventajas y desventajas de las mamposterías usadas.

El sexto Capítulo, con base a los resultados obtenidos contiene las conclusiones a las que se llega a través de todo el proceso realizado en este documento, además de recomendaciones para futuros proyectos.

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 HISTORIA[1]

En la antigüedad y aún en nuestros días Las Pirámides de Egipto, el Coliseo Romano, el Taj Mahal de la India, la Gran Muralla China, han sido ejemplo de grandes obras arquitectónicas del mundo construidos con mampostería.

A través del tiempo, los arquitectos y constructores han elegido la mampostería por su belleza, versatilidad y durabilidad siendo esta resistente al fuego, terremotos y sonido.

Artísticas y duraderas, las estructuras de mampostería pueden soportar el desgaste normal de los siglos.

El nivel de complejidad involucrado en un trabajo de mampostería varía desde la colocación de una pared de mampostería simple a la instalación de un exterior ornamentado o edificio de gran altura. Ya sea que trabaje con ladrillos, bloques, baldosas, terracota o piedra, e independientemente del nivel de artesanía, la habilidad y la precisión del albañil nunca pueden ser reemplazadas por máquinas.

---

[1] Mason Contractors Association of America, (2017). History of Masonry. Recuperado el 27 de julio de 2017 de: https://www.masoncontractors.org/history/

1.1.2 MATERIALES DE MAMPOSTERIA

1.1.2.1 Mampostería de arcilla

Los productos más utilizados por albañiles son el ladrillo de arcilla y el bloque de hormigón. El ladrillo es el producto manufacturado más antiguo del hombre.

Ladrillos de barro cocido al sol fueron utilizados en la construcción de edificaciones hace más de 6.000 años [2]. Con el fin de evitar la distorsión y el agrietamiento de las formas de arcilla, se añadieron paja cortada y hierba a la mezcla de arcilla. El siguiente gran paso en la mejora de la producción de ladrillos se produjo alrededor de 4.000 A.C. En ese momento los fabricantes comenzaron a producir ladrillos en formas uniformes. Junto con la formación de ladrillo, el paso de cocer al sol al fuego fue otro cambio importante. Esto mejoró la durabilidad del ladrillo.

A través de los siglos los métodos para producir ladrillos han seguido evolucionando.

A medida que la construcción de ladrillos se hizo más elaborada, el uso del ladrillo se hizo más sofisticado. La evolución del diseño de la construcción de ladrillos llevó, en parte, al desarrollo de bloques de hormigón.

1.1.2.2 Mampostería de concreto

La fabricación y los usos del bloque de concreto evolucionaron durante un largo período de tiempo. Esta evolución fue motivada por el desarrollo de paredes de cavidad. Cuando se desarrolló originalmente, las paredes de cavidad consistían

---

[2] Mason Contractors Association of America, (2017). History of Masonry. Recuperado el 27 de julio de 2017 de: https://www.masoncontractors.org/history/

en dos paredes separadas de ladrillo o piedra con un espacio de aire de aproximadamente 2 pulgadas entre ellos.

Las paredes de cavidad laterales (dos paneles laterales de mampostería con abertura interior continua) se desarrollaron para reducir los problemas asociados con la penetración del agua. El agua que se filtraría en el interior de la pared exterior se extendería por esa pared, mientras que la pared interior permanecería seca. Las paredes de cavidad pronto se reconocieron como la mejor manera de construir, no sólo porque ayudaron a reducir los problemas con la penetración de agua, sino porque podían soportar una carga pesada como un techo o piso. En 1850 se desarrolló un bloque especial con células de aire. A lo largo de los años se introdujeron modificaciones en este producto hasta que la industria llegó al producto estandarizado que vemos hoy.

Los bloques de hormigón se producen con una mezcla de cemento, arena y piedra triturada o agregado ligero. Las plantas de hormigón de hoy en día son totalmente automatizadas.

1.1.2.3 Mortero

En la antigüedad como ahora el mortero se usaba para rellenar grietas y dar uniformidad entre unidades de mampostería.

Se utilizó yeso calcinado, y siglos después se añadió limo al agua se adiciono arena, rocas y nació el primer tipo de cemento.

Aunque los morteros de limo no eran tan resistentes, se encontró la forma de mejorarlo añadiéndole ceniza volcánica (puzolanas), este podría considerarse como el origen del cemento puzolánico, el cual también se compone de cemento portland, como ejemplo, el coliseo de Roma fue construido con este tipo de cemento.

Después de más de 6.000 años, la albañilería todavía se utiliza hoy. Al mirar alrededor se pueden notar distintas formas de mampostería en edificios de oficinas, escuelas, casas.[3]

1.2 ALCANCE

En la presente investigación se pretende obtener el valor de la resistencia a compresión para la falla de tracción diagonal mediante el ensayo a compresión diagonal.

Para llevar a cabo la propuesta se tomará en cuenta dos tipos distintos de materiales, ladrillo artesanal y bloque, con un número mínimo de 5 muestras, esto según la recomendación de la Norma Peruana[4].

El parámetro obtenido servirá para ser usado en aplicaciones computacionales no lineales, en este caso SeismoStruct., y a su vez permitirá hacer uso de valores propios de nuestra realidad desplazando los valores usados por defecto.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Definir el valor de la resistencia a compresión por tracción diagonal de dos tipos de mampostería simple no confinada (bloque y ladrillo), mediante la representación experimental de la falla que se produce ante grandes tensiones en sus esquinas.

---

[3] Mason Contractors Association of America, (2017). History of Masonry. Recuperado el 27 de julio de 2017 de: https://www.masoncontractors.org/history/

[4] San Bartolomé A. (2008). Comentarios a la Norma Técnica de Edificación E.070 "Albañilería". Capítulo 5. Lima, SENCICO.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el mecanismo de falla por tracción diagonal en mamposterías.
- Determinar de forma experimental la resistencia a corte bajo compresión diagonal.
- Observar y caracterizar el tipo de corte que se presente en cada espécimen ensayado.
- Obtener la resistencia a compresión de forma analítica y experimental.
- Comparar los resultados experimentales con valores obtenidos de forma analítica y el valor por defecto propuesto en la bibliografía.

1.4 JUSTIFICACIÓN

1.4.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Este proyecto se lo realiza por la necesidad de determinar el valor de resistencia a compresión por tracción diagonal en dos tipos de mamposterías simples (bloque y ladrillo), para esto es necesario analizar el comportamiento de la falla que se presenta cuando existen grandes tensiones en las esquinas de los muretes ante cargas laterales producidas por vientos o sismos.

1.4.2 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Los ingenieros civiles antes de construir modelan la estructura de las edificaciones, para saber si esta cumple con la filosofía del diseño sismo resistente, pero por lo general se excluye a los elementos no estructurales, pero

como cada vez los programas computacionales son mejorados, existen algunos que incluyen de mejor manera a la mampostería, uno de estos es el SeismoStruct, el cual requiere de varios parámetros relacionados a esta, en base a este lineamiento se desarrolla este proyecto que permite determinar el factor de resistencia a compresión, mismo que nos ayuda a comprender el funcionamiento de la mampostería ante cargas laterales producidas por vientos o sismos y estimar de mejor manera el comportamiento de las unidades de mampostería y del mortero.

En varios documentos relacionados al tema propuesto se hace uso de expresiones analíticas para la estimación de la resistencia a compresión de la mampostería, estos valores que se obtengan de forma teórica serán comparados con valor experimental, estableciendo así la eficacia de las formulas encontradas.

Esta investigación busca incentivar al ingeniero civil a no dejar de lado la mampostería, y así como se realizan cálculos y ensayos previos para columnas, vigas, losas y cimentación también realizar análisis previos para conocer el aporte de la mampostería hacia la estructura.

CAPÍTULO 2
MARCO TEÓRICO

2.1 IMPORTANCIA DE LA MAMPOSTERIA

La mampostería reúne una serie de factores los cuales cumplen el propósito de proteger al hombre entre estos tenemos la resistencia a la compresión, resistencia al fuego, durabilidad entre otros.

El bloque y el ladrillo son los materiales predominantes en paredes de viviendas en nuestro país.

A pesar de ser el sistema más antiguo usado en la construcción hasta el día de hoy, es el menos entendido y al que menos atención se le ha prestado. Es sustancial un estudio profundo del comportamiento de los distintos tipos de mampostería y así poderlos emplear con fines estructurales racionalmente. La presencia de paredes de mampostería cambia significativamente las características estructurales del edificio y crea nuevos mecanismos de falla.[5]

Existe una notable contradicción entre la tradición, la actividad constructora, la actividad científica, la normativa y la casi nula importancia que se da a la mampostería en cuanto a la formación de profesionales.

Gran parte de la actividad constructora del país y sus fuentes de trabajo viene de la construcción de mampostería. En muchos de los casos la supervivencia de edificaciones depende de la mampostería. Aun así, a la mampostería se la suele ignorar en el cálculo, dejando de lado la rigidez y resistencia de los elementos no estructurales, se descuida su construcción se le da poca importancia a su enseñanza y se le suele dar más confianza a los sistemas estructurales.

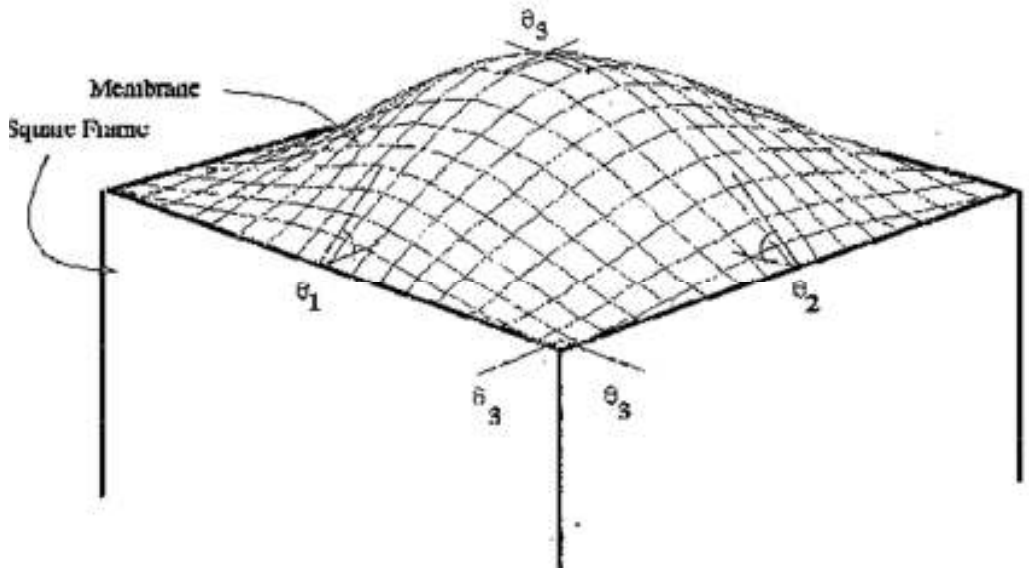
---

[5] Crisafulli F., (1997). Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills. PhD Thesis University of Canterbury, New Zealand.

La mampostería debería ser tratada con la misma importancia y atención que se les da a materiales como el concreto reforzado y el acero estructural, dentro del ámbito de la educación, la investigación y la práctica profesional, ya que a la misma por lo general se le considera solo como una carga muerta.

Teniendo en cuenta un sismo, y que generalmente un edificio de gran altura es diseñado para resistir fuerzas del sismo, pero al no dar importancia a las mamposterías (se consideran solo como una carga muerta) estas no son diseñadas para ninguna fuerza. Pero numerosas personas se ven afectadas porque las paredes se derrumban. La razón es, el terremoto es una fuerza inercial y las paredes tienen masa. Las paredes tienen que resistir su propia fuerza inercial por flexión fuera del plano.

Figura 2.1 Comportamiento de una membrana ante esfuerzos



Fuente: https://www.quora.com/What-is-the-importance-of-walls-in-a-structure

Similar a la figura 2.1, pero en dirección vertical, de pie.

Ahora la pared es quebradiza y no puede resistir ninguna tensión. Y tampoco se le ha proporcionado ningún tipo de refuerzo. Así que el fracaso de la pared es algo fácil de predecir.

Así que, para los terremotos, incluso una pared no portante, no estructural debe ser diseñada para estas fuerzas:

$$F = m.a \qquad (2.1)$$

Donde:

m = masa de la pared.
a = aceleración de la gravedad.

Lo mismo se aplica al viento. En caso de que sea una pared exterior, experimentará la presión del viento. Es el deber de un ingeniero diseñar la pared para eso.

Las posibles consecuencias de no tener en cuenta la mampostería son[6]:

- Cambio de la respuesta global de la estructura debido a la disminución del período natural, por lo que también cambiarán las fuerzas sísmicas.

- El aumento de fuerzas de corte producidas por el pórtico de hormigón relleno con mampostería puede provocar el fallo de los elementos de hormigón armado, como ejemplo se puede citar la columna corta.

- La distribución asimétrica de la mampostería puede alterar la torsión, además, la falta de paredes puede provocar un piso blando.

[6] Crisafulli F., (1997). Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills. PhD Thesis University of Canterbury. New Zealand.

Debe considerarse siempre a la mampostería en la evaluación de la rigidez estructural, torsión y la posible formación de fallo local, así se logrará reducir la pérdida de vidas y daños a las edificaciones.

Para la mampostería simple no confinada no se han establecido normas de diseño, mientras tanto en los últimos años si se han ido desarrollando normas de diseño y cálculo para edificios de albañilería confinada con el fin de mejorar el desempeño ante un sismo.

2.2 MAMPOSTERÍA SIMPLE

2.2.1 DEFINICIÓN

Es el tipo de mampostería que no lleva ningún tipo de refuerzo, los esfuerzos principales son de compresión los cuales deben contrarrestar los esfuerzos de tensión producidos por fuerzas horizontales. En el país vecino Colombia bajo la norma NSR-98 este tipo de mampostería es prohibida en zonas de amenazas sísmica alta e intermedia.[7]

2.2.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TIPOS DE MAMPOSTERIA SIMPLE SEGÚN EL MATERIAL

Los materiales más usados en el país para la fabricación de mampostería son el ladrillo y el bloque de hormigón.

[7] Jaramillo J., (2004). Análisis Clásico de Estructuras. Bogotá.

2.2.2.1 Mampostería simple de bloque

Ventajas

- Una casa construida con bloques puede tener una vida útil de hasta 100 años, mientras que una construida con ladrillos puede durar un tiempo más corto, debido a que las paredes construidas con bloque son más fuertes que las construidas con ladrillo.[8]

- Durante la fabricación de los bloques de hormigón es mucho más fácil estimar el número que se producirá a partir de una determinada cantidad de hormigón. Por otro lado, es mucho más difícil estimar el número de ladrillos (de fabricación artesanal), porque durante su fabricación, los ladrillos pierden humedad al ponerse o al secarse y en la mayoría de los casos, se vuelven más pequeños como resultado. La consecuencia se refleja en el momento de la construcción porque normalmente, se usa más mortero cuando se ponen los ladrillos de lo que se planeaba inicialmente.

- Si se desea construir una casa en poco tiempo, los bloques son útiles debido a su tamaño, ya que un bloque equivale a dos o más ladrillos, lo que reduce el tiempo dedicado a su colocación.

- No es vulnerable al fuego, moho y termitas.

- Los bloques son más ligeros que los ladrillos, lo que les ofrece una mayor trabajabilidad, flexibilidad y durabilidad. Su relación de densidad seca

[8] Vision Reporter, (2013). Traditionally, it has been a custom to build residential houses using bricks or blocks. Recuperado el 27 de julio de 2017 de: http://www.newvision.co.ug/new_vision/news/1314073/bricks-vs-blocks

reduce la carga muerta sobre las estructuras lo que los hace más eficientes y adecuados para las construcciones modernas.[9]

Desventajas

- Transfiere el aire frio desde el exterior.
- Al ser huecos son pocos resistentes a golpes fuertes.

2.2.2.2 Mampostería simple de ladrillo

Ventajas

- Tiene una buena resistencia contra el fuego.
- Es capaz de bloquear el sonido desde el exterior.
- Hogares de eficiencia energética, sus cualidades de masa inherentes ayudan a mantener un hogar más fresco en el verano y más cálido en el invierno.

Desventajas

- Durante condiciones climáticas extremas, puede causar degradación de la superficie debido al daño por heladas.
- Añade mucho peso a la cimentación. Por lo tanto, aumenta el esfuerzo de la misma, por lo que se necesitaría una cimentación de mayor resistencia.

[9] Career Ride, (2016). Bricks or blocks – which are better for construction?. Recuperado el 27 de julio de 2017 de: http://www.careerride.com/view/bricks-or-blocks-which-are-better-for-construction-26826.aspx

- Si el ladrillo muestra daño, no se puede solo reparar esa parte, sino que se debe eliminar toda la sección de la pared lo cual es costoso.

2.3 BREVE RESEÑA DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL SEISMOSTRUCT

SeismoStruct es un sistema computacional basado en elementos finitos que tiene la finalidad de predecir el comportamiento de los desplazamientos de pórticos espaciales bajo carga estática o dinámica. Cuenta con una extensa variedad de materiales entre ellos está el hormigón, acero, y otros, además tiene una amplia variedad de elementos 3D y configuraciones de perfiles de acero, concreto y secciones compuestas[10]. Este programa se ha desarrollado para una evaluación analítica de diferentes tipos de estructuras como: edificios, puentes, plantas industriales entre otros, sometidos a fuertes movimientos (como los sismos).

2.3.1 CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES

En la breve presentación del programa computacional que se expone en la página web de SEISMOSOFT[11] se indican sus características, las que más destacan son:

- Cuenta con ocho diferentes tipos de análisis (pushover, análisis dinámico incremental, etc.), satisfaciendo las necesidades analíticas que se plantean en la actual evaluación sísmica basada en el desempeño y la filosofía de diseño sismorresistente.

- La carga a aplicarse puede ser una fuerza constante, variable, distribuida en elementos. La carga variable puede cambiar de forma proporcional o puede ser independiente en el pseudo-tiempo o en el dominio del tiempo.

---

[10] SeismoSoft, (2014). Manual de Usuario de SeismoStruct V. 7. Italia.

[11] SeismoSoft, (2017). SeismoStruct. Recuperado el 28 de julio de 2017: http://www.seismosoft.com/seismostruct

- Considera la no linealidad geométrica y la inelasticidad de los materiales.

- Permite la estimación concreta de la acumulación de daños de la propagación de la inelasticidad a lo largo de la longitud del miembro y a través de la profundidad de la sección.

- Los controles de capacidad de rotación y cizalladura pueden elaborarse de acuerdo con el Eurocódigo 8, el NTC-08 y el KANEPE y todos los estados límite de los códigos especificados.

- Dispone de varios criterios de desempeño, que permiten identificar cuando estados límites son alcanzados, como daño estructural, no estructural y colapso. Es posible determinar la secuencia de fisuración, fluencia y falla de los miembros estructurales.[12]

2.3.2 ACERCA DE LOS PANELES DE MAMPOSTERÍA

El SeismoStruct integra en su análisis la influencia de la mampostería en el pórtico, representándolo por medio de 4 nodos. Inicialmente esta ideología fue desarrollada y programada por Crisafulli[13], para luego ser insertado en el programa por Blandon[14] a través de un modelo de la respuesta no lineal de paneles de mampostería (infill panels).

---

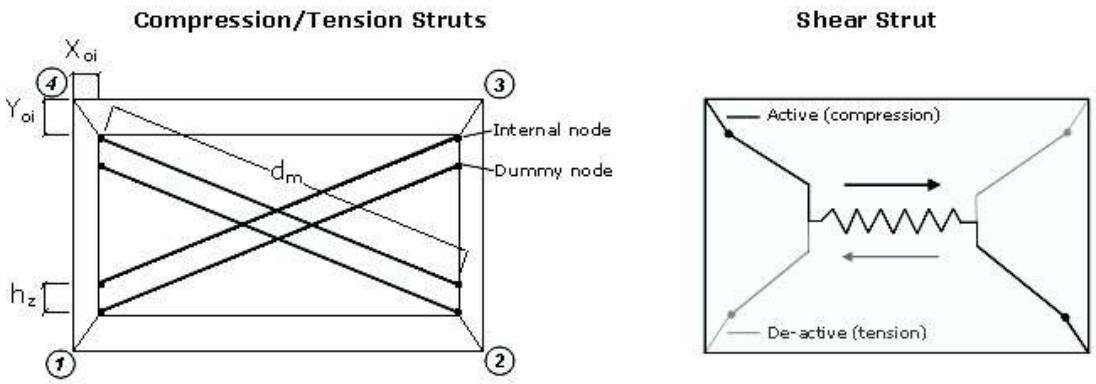
[12] SeismoSoft, (2014). Manual de Usuario de SeismoStruct V. 7. Italia.

[13] Crisafulli F., (1997). Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills. PhD Thesis University of Canterbury. New Zealand.

[14] Blandon, C. A., (2005). Implementation of an Infill Masonry Model for Seismic Assessment of Existing Buildings, Individual Study, European School for Advanced Studies in Reduction of Seismic Risk (ROSE School). Pavia, Italy.

La literatura del programa considera que no hay aberturas entre el marco y la pared de mampostería y sustituye a la mampostería por 6 bielas, 2 bielas paralelas para cada diagonal y los 2 últimos dispuestos para transmitir corte desde la parte superior hasta la parte inferior del panel[15].

Figura 2.2 Representación de la mampostería en 6 bielas.



Fuente: Ayuda del usuario Seismotruct.

2.4 RESISTENCIA A COMPRESIÓN

2.4.1 DEFINICIÓN

La resistencia a la compresión de cualquier material es la resistencia al fallo o esfuerzo de compresión máximo bajo la acción de una fuerza de compresión sobre un área que se aplica de forma gradual. Algunos materiales se fracturan a su límite de resistencia a la compresión. Este parámetro se calcula dividiendo la carga máxima por el área de la sección transversal de una muestra de prueba de compresión, este valor es clave para el diseño de estructuras.

---

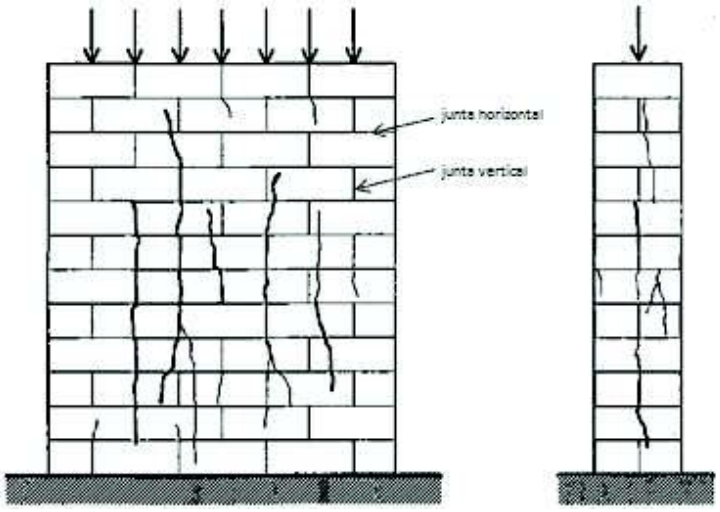
[15] Seismosoft, (2014). SeismoStruct v7.0 – A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures. Recuperado el 30 de julio: http://www.seismosoft.com.

2.4.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA

Al trabajar la mampostería ante esfuerzos de compresión (sometido a una carga de compresión perpendicular a las juntas horizontales), se produce una interacción entre la unidad de mampostería y el mortero, donde las unidades restringen las deformaciones del mortero, produciendo esfuerzos de compresión con dirección transversal en el mortero, y esfuerzos de tracción transversales en los mampuestos, esto es debido a que los dos materiales tienen características diferentes de esfuerzo-deformación. Esto hace que la resistencia a la compresión de la mampostería sea menor a la resistencia a compresión de sus unidades.[16]

En la figura 2.4 se muestra un caso habitual en el que el mortero es más débil que las unidades de mampostería, esta filosofía es la que contempla Crisafulli.[17]

Figura 2.3 Fallo de típica de muros de mampostería

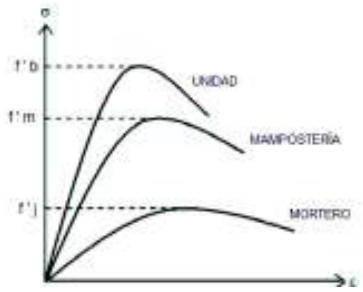


Fuente: Crisafulli F., 97

[16] Carrillo C. E., (2008). Comparación de la Respuesta Sísmica Incorporando y Desacoplando la Mampostería y Técnicas de Reforzamiento. Tesis Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Quito.

[17] Crisafulli F., (1997). Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills. PhD Thesis University of Canterbury. New Zealand.

Figura 2.4 Relaciones esfuerzo-deformación para el mortero, las unidades y mamposterías



Fuente: Paula T., Pristley M., 1992

La resistencia a la compresión de la mampostería es uno de los parámetros más fundamentales para cuantificar las características de la mampostería, incluyendo la calidad de mano de obra. Además, ayuda en la determinación el diseño a flexión permisible y tensiones de corte.

2.4.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN PANEL DE MAMPOSTERÍA DENTRO DE UN PÓRTICO

2.4.3.1 Definición

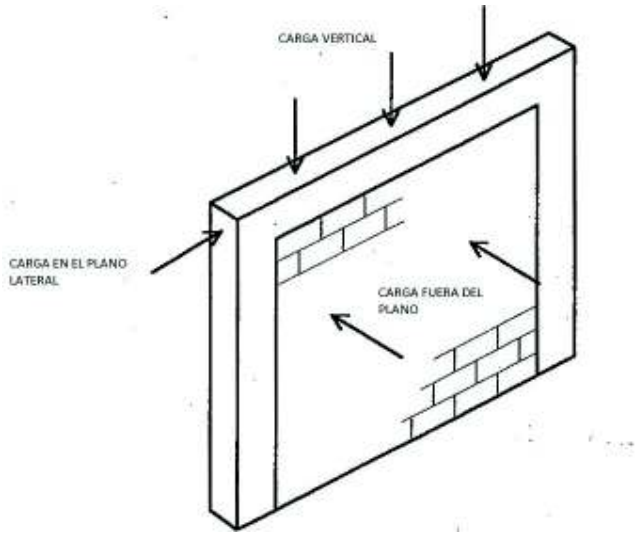
El SeismoStruct define a la resistencia a compresión como la capacidad diagonal del panel[18], este enfoque se basa en el puntal equivalente (modelo no lineal), donde se simula el comportamiento de la mampostería por una o más barras diagonales (puntal) que trabajan solo axialmente a compresión. No se debe confundir este parámetro con la resistencia a compresión de la mampostería.

2.4.3.2 Comportamiento del panel de mampostería

[18] Seismosoft, (2014). SeismoStruct v7.0 – A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures. Recuperado el 30 de julio: http://www.seismosoft.com.

Las cargas que actúan en el pórtico con panel de mampostería son: las cargas por gravedad que producen esfuerzos de compresión en dirección vertical, cargas en el plano lateral producidas por el viento o sismos, y los efectos por flexión. No se consideran las cargas fuera del plano.[19]

Figura 2.5 Cargas en el pórtico con mampostería



Fuente: Crisafulli, 1997

Para el análisis generalmente se le da más énfasis al estudio del comportamiento por las cargas en el plano lateral producidos por sismos.

Sismos recientes han demostrado que la respuesta de las estructuras existentes está fuertemente condicionada por la mampostería [20]. En zonas con alta amenaza sísmica se ha podido observar que el desempeño de los paneles de albañilería es muy pobre.

---

[19] Crisafulli F., (1997). Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills. PhD Thesis University of Canterbury. New Zealand.

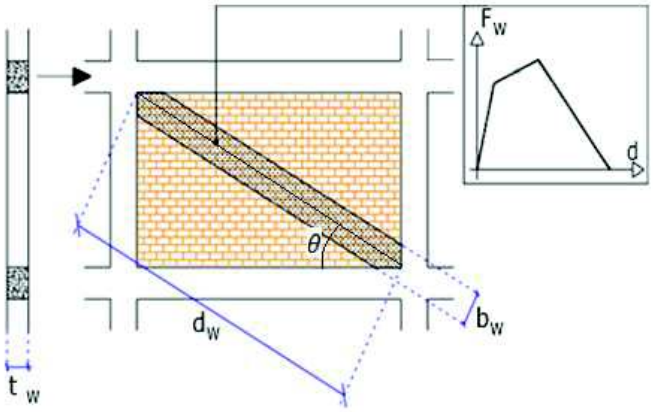
[20]Fiore, A., Mezzina, M., Porco, F., Uva, G. (2013). Solidarizzazione delle tamponature per il miglioramento sismico di edifici esistenti - M3. Recuperado el 30 de abril de 2017 de http://www.ingenio-web.it/immagini/CKEditor/M3.pdf

El comportamiento de la mampostería es el resultado de la fragilidad del panel, las características dúctiles no lineales del pórtico, las diferentes propiedades de deformación y de las condiciones variables en la interfaz del panel-pórtico.

2.4.3.3 Modelo planteado por Bertoldi[21]

Para explicar de mejor manera este tema se tomará en cuenta la ideología con la cual se desarrolla SeismoStruct, esta se basa en los estudios realizados por Bertoldi, su trabajo consiste en la recopilación de resultados del análisis estático de la modelación no lineal de una edificación en diferentes configuraciones, solo estructura, con mampostería reforzada y no reforzada.

Figura 2.6 Modelo de puntal equivalente a compresión



Fuente: Fiore A., Mezzina, M., Porco, F., Uva, G., 2013

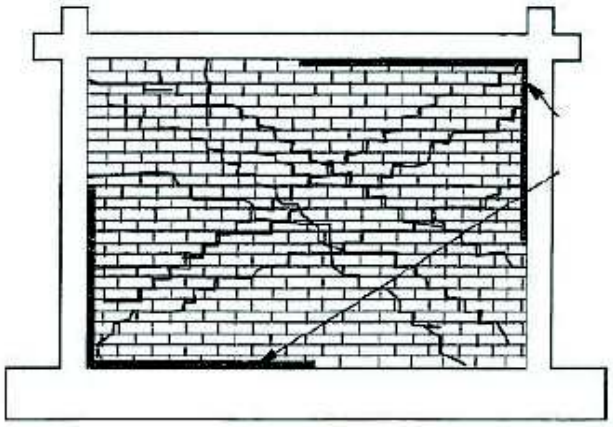
Para estudiar el comportamiento del panel de mampostería se tomará en cuenta la ideología del *puntal diagonal equivalente* que actúa en compresión para resistir la carga lateral (ver figura 2.6), ya que varios estudios coinciden que la

[21] Bertoldi S.H., Decanini L.D., Gavarini C., (1993). Telai tamponati soggetti ad azione sismica, un modello semplificato: confronto sperimentale e numérico. Perugia, Italy.

mampostería actúa monolíticamente con el pórtico[22], además mientras se va deformando se sabe que la pared tiende a separarse del marco, en especial cuando su construcción caracteriza primero el levantamiento del pórtico y luego la colocación la mampostería. Esta filosofía considera todos los efectos que produce esta interacción, por lo tanto, esta alternativa es la que mejor representa el tema a analizar.

En ensayos experimentales se ha observado que el comportamiento de este modelo planteado está controlado por la baja integración entre el paño de mampostería y el pórtico sometidos a fuerzas laterales (producidas por viento o sismos), provocando que la pared se separe de la estructura provocando un puntal diagonal[23].

Figura 2.7 Agrietamiento en el estado último en mampostería simple



Fuente: Haider S., 1995

[22] Carrillo C. E., (2008). Comparación de la Respuesta Sísmica Incorporando y Desacoplando la Mampostería y Técnicas de Reforzamiento. Tesis Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Quito.

[23] Cabezas F., (2011). Estimación Analítica de la Resistencia al Corte de Muros de Albañilería Confinada Mediante el Modelo Crisafulli. Tesis Universidad de Chile, Santiago de Chile.

El análisis del *ancho del puntal equivalente* contempla el estado total de agrietamiento del panel sometido a acciones cíclicas. Para este cálculo se presenta la siguiente expresión semi-empirica determinada por Bertoldi[24]:

$$\frac{b_w}{d_w} = \frac{K_1}{\lambda h} + K_2 \qquad (2.2)$$

Donde:

b_w= Ancho del puntal diagonal equivalente

d_w= Longitud de la diagonal.

h = Altura entre los ejes de las vigas que encierran el pórtico.

K_1, K_2 = Parámetros en función de λ expresados en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Parámetros K_1 y K_2 del modelo de Bertoldi

	$\lambda h < 3,14$	$3,14 < \lambda h < 7,85$	$\lambda h > 7,85$
K_1	1,3	0,707	0,47
K_2	-0,178	0,01	0,04

Fuente: Fiore A., Mezzina, M., Porco, F., Uva, G.,2013

λ= Parámetro de rigidez relativa, determinado por la siguiente fórmula planteada por Stafford Smith[25]:

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_m t_w \sin(2\theta)}{4 E_c I_c h_w}} \qquad (2.3)$$

Donde:

[24] Bertoldi S.H., Decanini L.D., Gavarini C., (1993). Telai tamponati soggetti ad azione sismica, un modello semplificato: confronto sperimentale e numérico. Perugia, Italy.

[25] Stafford Smith B., Carter C., (1969). A method of analysis for infilled frames. Proceedings of the Institution of the Civil Engineers. Reino Unido

E_m= Módulo elástico de la mampostería.

t_w= Espesor del panel.

θ= Ángulo de inclinación del puntal diagonal equivalente con respecto a la horizontal.

E_c= Modulo de elasticidad de la columna.

I_c= Momento de inercia promedio de las columnas adyacentes.

h_w= Altura del panel de mampostería.

La fórmula 2.3 ha sido adoptada en varios modelos para determinar el ancho del puntal equivalente, como FEMA (1997), Crisafulli, Mainstone, Liauw y Kwan[26], y Bertoldi[27], con la ideología del ultimo autor mencionado se desarrolló el programa Seismostruct[28].

La figura 2.8 representa la curva de la fuerza lateral versus desplazamiento, se conforma de 4 tramos. El primer tramo ascendente, es de tipo elástico lineal y corresponde a la etapa no agrietada. El segundo tramo se refiere a la fase luego del agrietamiento hasta el desarrollo de la resistencia máxima (F_m), y el punto más alto corresponde a la etapa de rotura completa de la mampostería. El tercer rango que desciende describe el deterioro del panel de mampostería hasta alcanzar la resistencia residual (F_r) y el desplazamiento (S_r), después de eso la curva continua horizontalmente.

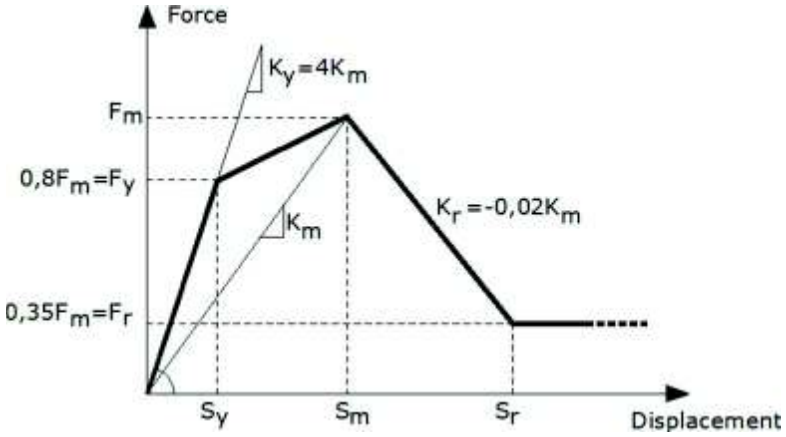
---

[26] Carrillo C. E., (2008). Comparación de la Respuesta Sísmica Incorporando y Desacoplando la Mampostería y Técnicas de Reforzamiento. Tesis Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Quito.

[27] Bertoldi S.H., Decanini L.D., Gavarini C., (1993). Telai tamponati soggetti ad azione sismica, un modello semplificato: confronto sperimentale e numérico. Perugia, Italy.

[28] Seismosoft, (2014). SeismoStruct v7.0 – A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures. Recuperado el 30 de julio: http://www.seismosoft.com.

Figura 2.8 Fuerza vs Desplazamiento del puntal



Fuente: Fiore A., Mezzina, M., Porco, F., Uva, G.,2013

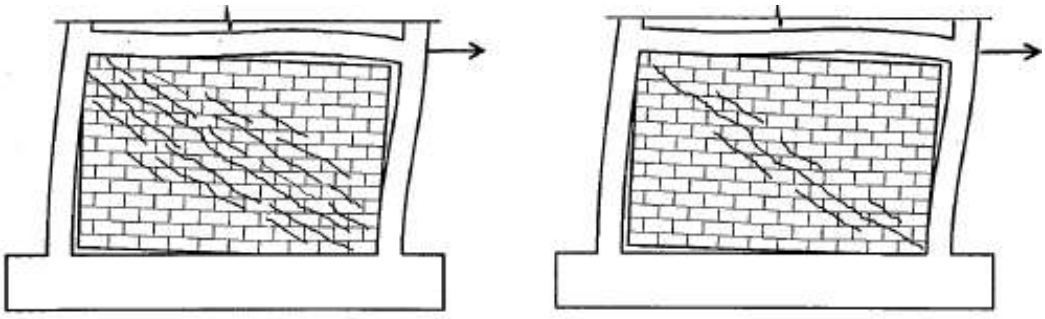
Stafford y Smith en 1962 en base a varios experimentos y estudios analíticos determinaron que el ancho del puntal equivalente se encuentra dentro del rango de 10% y 25% de la longitud de la diagonal.[29]

Esta ideología, además, implica conocer 4 modos distintos de falla y las ecuaciones planteadas para cada estado, a continuación, se describe cada uno de ellos.

Falla por tracción diagonal: Este fallo se presenta por grietas diagonales en el panel de mampostería, así como se muestra en la figura 2.9. Se produce cuando la tensión principal de tracción excede la resistencia a la tracción de mampuesto, este estado evidencia la debilidad de la unidad de mampostería con relación al mortero.

[29]Carrillo C. E., (2008). Comparación de la Respuesta Sísmica Incorporando y Desacoplando la Mampostería y Técnicas de Reforzamiento. Tesis Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Quito.

Figura 2.9 Agrietamiento inducido por la tensión diagonal



Fuente: Crisafulli F., 1997

La ecuación planteada para este modo de falla es:

$$f_{m\theta} = \frac{0.6f_{ws} + 0.3\sigma_v}{\frac{b_w}{d_w}} \qquad (2.4)$$

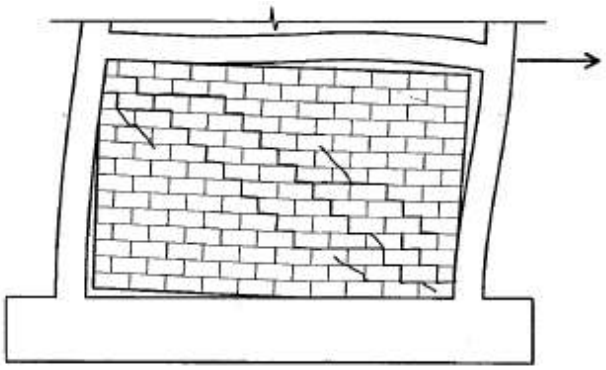
Donde:

$f_{m\theta}$ = Resistencia a la compresión, modo de falla tracción diagonal.
f_{ws}= Resistencia a corte bajo compresión diagonal.
σ_v= Esfuerzo vertical de compresión debido a las cargas gravitatorias, es cero cuando son paredes no portantes.
b_w= Ancho del puntal diagonal equivalente.
d_w= Longitud de la diagonal.

Falla por deslizamiento: Esta falla se refiere a la pérdida de adherencia entre materiales, está gobernada principalmente por la resistencia al corte de las juntas del mortero, la resistencia a tracción de las unidades de mampostería y los valores relativos del corte y tensión normal[30]. En los pórticos con mampostería esta falla puede presentarse aproximadamente de forma escalonada, donde la resistencia por corte supera la tensión normal.

[30] Crisafulli F., (1997). Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills. PhD Thesis University of Canterbury. New Zealand.

Figura 2.10 Agrietamiento por cizallamiento a lo largo de las juntas de mortero, grietas escalonadas



Fuente: Crisafulli F., 1997

El modelo matemático para representar este mecanismo es:

$$f_{m\theta} = \frac{(1.2 \sin\theta + 0.45 \cos\theta) f_{wu} + 0.3\sigma_v}{\frac{b_w}{d_w}} \qquad (2.5)$$

Donde:

$f_{m\theta}$ = Resistencia a la compresión, modo de falla deslizamiento.

f_{wu}= Resistencia a corte por deslizamiento.

σ_v= Esfuerzo vertical de compresión debido a las cargas gravitatorias, es cero cuando son paredes no portantes.

θ= Ángulo de inclinación del puntal diagonal equivalente con respecto a la horizontal.

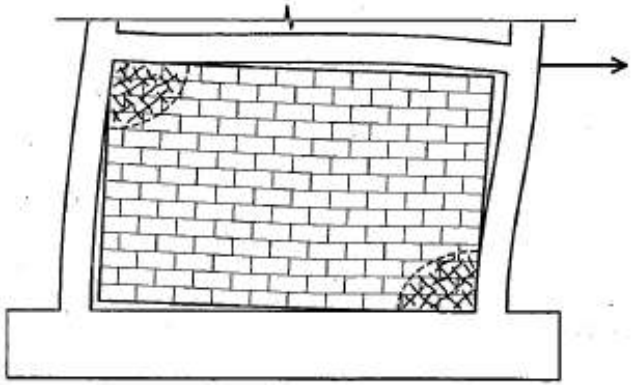
b_w= Ancho del puntal diagonal equivalente.

d_w= Longitud de la diagonal.

Falla por compresión en las esquinas: Este fallo de compresión se caracteriza generalmente por el aplastamiento de la esquina de la mampostería entre el pórtico y el relleno de mampostería debido a concentraciones de esfuerzo en las

esquinas de compresión, este estado ha sido observado escasamente. Se produce por un estado de estrés que se desarrolla en el panel, cargando las esquinas a lo largo de la diagonal.

Figura 2.11 Falla debido al aplastamiento de la mampostería en las esquinas de los paneles



Fuente: Crisafulli, 1997

La ecuación ligada a este tipo de falla es:

$$f_{m\theta} = \frac{1.12 f'_w \sin\theta \cos\theta}{K_1((\lambda h)^{-0.12} + K_2(\lambda h)^{0.88}} \quad (2.6)$$

Donde:

$f_{m\theta}$ = Resistencia a la compresión, modo de falla compresión de esquinas.

f'_w= Resistencia a la compresión vertical de la mampostería.

θ= Ángulo de inclinación del puntal diagonal equivalente con respecto a la horizontal.

h= Altura desde el piso.

$K_1\ y\ K_2$ = Parámetros expresados en la tabla 2.1.

λ=Parámetro adimensional de la rigidez relativa, se determina con la fórmula 2.3.

Falla por compresión en el centro del panel: Este estado muestra un fallo por compresión que se desarrolla después del agrietamiento. La ecuación para expresar este modo de fallo es la siguiente:

$$f_{m\theta} = \frac{1.16 \tan \theta}{K_1 + K_2 \, \lambda h} \qquad (2.7)$$

Donde:

$f_{m\theta}$ = Resistencia a la compresión, modo de falla compresión en el centro del panel.
θ= Ángulo de inclinación del puntal diagonal equivalente con respecto a la horizontal.
h= Altura desde el piso.
K_1, K_2 = Parámetros expresados en la tabla 2.1.
λ= Parámetro adimensional de la rigidez relativa, se determina con la fórmula 2.3.

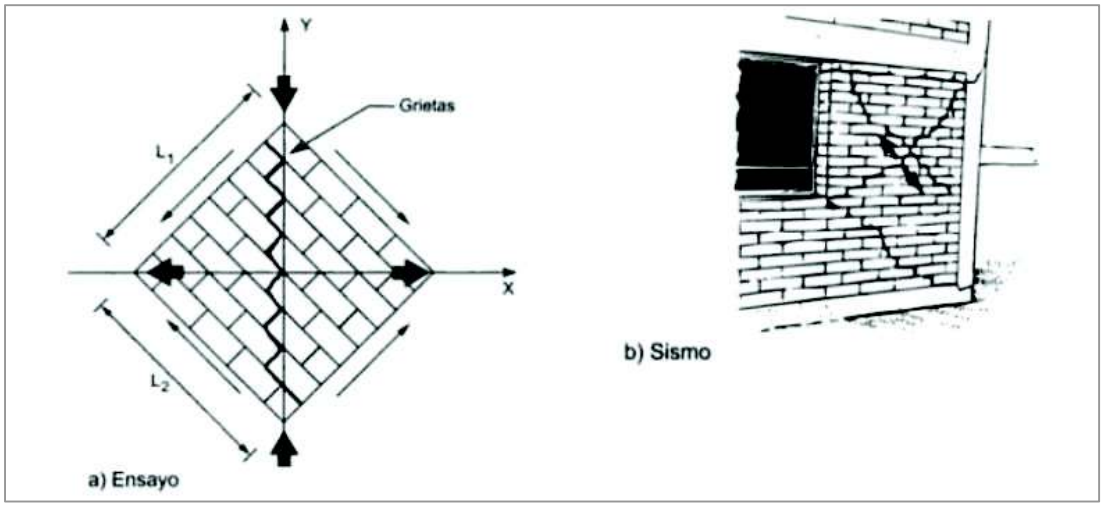
2.4.4 FALLA POR TRACCIÓN DIAGONAL

La resistencia a corte por compresión diagonal de la mampostería (f_{ws}) es un parámetro que forma parte del mecanismo de falla a tracción diagonal. El ensayo que mejor define esta resistencia es el del murete a compresión diagonal. Existen fallas similares entre las que se producen en este ensayo y las que se originan producidos por sismos en algunas mamposterías.

Generalmente los posibles modos de falla a considerarse en este ensayo son por corte y por tracción diagonal, generalmente cuando las unidades son huecas o perforadas se produce una falla por aplastamiento.[31]

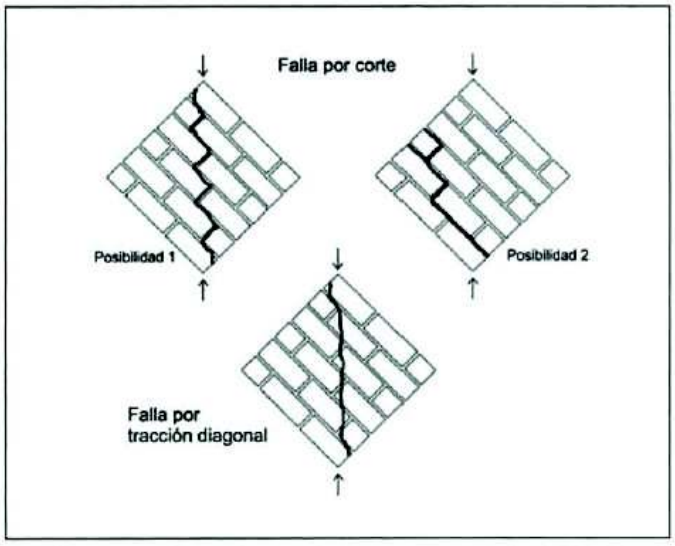
[31] Gallegos H., Casabone C., (2005). Albañilería Estructural. Perú.

Figura 2.12 Similitud de la falla en el ensayo de corte (compresión diagonal) y en un sismo.



Fuente: Gallegos H., Casabone C., 2005

Figura 2.13 Modos de Falla



Fuente: Gallegos H., Casabone C., 2005

CAPITULO 3
MATERIALES Y ESPECÍMENES

3.1 BLOQUE

El bloque es una unidad de mampostería modular premoldeada que se elabora con cemento portland, áridos finos y gruesos, como: arena, grava, piedra partida, granulados volcánicos, piedra pómez, escorias u otros materiales inorgánicos inertes adecuados. Independiente de los agregados que se usen, las partículas deben estar pegadas por la pasta de cemento para tener una estructura relativamente abierta, esto se logra mientras al hormigón se lo hace vibrar, la pasta de cemento debe licuarse y fluir a los puntos de contacto de los agregados, uniéndolos entre sí.

En el proceso de fabricación de este elemento existe una característica importante en su mezcla, la cual puede ser dosificada para producir unidades de distintas resistencias dentro de la misma pieza. La habilidad de elaborar este mampuesto es obtener una resistencia adecuada con la mínima densidad y con el menor contenido de cemento, disminuyendo al mínimo el costo de materiales y el riesgo de producir unidades con excesiva contracción de fraguado.

En la norma INEN 3066[32] se distinguen 2 prototipos de bloques, este puede ser sólido (cuando el área neta de la superficie de carga sea menos de 75%) o hueco (cuando el área neta de la superficie de carga es mayor o igual al 75 %).

En el país el elemento que más se usa en la construcción es el bloque hueco de hormigón, ya que este satisface de manera amplia los requisitos técnico-

[32] Servicio Ecuatoriano de Normalización, (2016). NORMA INEN 3066 “BLOQUE DE HORMIGÓN. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO” NUMERAL 5.1. Quito. INEN

económicos[33] que son imprescindibles en este sector, y es la opción más común con el fin de reducir peso

Debido a la uniformidad de estos mampuestos, se obtiene un trabajo regular y plano (paredes rectas sin irregularidades); además se reduce la mano de obra con respecto a otros sistemas habituales, tanto por la disminución de los tiempos de obra, como por el menor número de unidades a colocar en una pared (comparándolo con el ladrillo).

3.1.1 CLASIFICACIÓN DEL BLOQUE

En la INEN 3066[34] se establecen 2 tipos de clasificación para los bloques de hormigón:

De acuerdo a su uso:

- **Clase A:** Uso en mampostería estructural (bajo criterio de pared portante).
- **Clase B:** Uso en mampostería no estructural (no debe soportar más carga que su propio peso).
- **Clase C:** Uso en alivianamientos de losas.

De acuerdo a su densidad:

- **Liviano:** Densidad < 1680 kg/m³

---

[33] Tensoblock, (2017). Bloques de hormigón. Recuperado el 30 de julio de 2017 de: http://tensolite.com.ar/Sis/Contenidos/12.pdf

[34] Servicio Ecuatoriano de Normalización, (2016). NORMA INEN 3066 “BLOQUE DE HORMIGÓN. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO” NUMERAL 5.1. Quito. INEN

- **Mediano:** Densidad entre 1680 a 2000 kg/m³.

- **Normal:** Densidad >2000 kg/m³.

En esta norma también se mencionan los requisitos que deben cumplir los materiales y dimensiones para la fabricación del bloque.

3.2 LADRILLO

El ladrillo en una pieza rectangular de forma y tamaño variable, que puede ser maciza o hueca. Por sus dimensiones permite que este pueda ser colocado con una sola mano del operario. Esta unidad de mampostería presume de ser un material de construcción muy antiguo, el cual aún sigue en uso.

Su fabricación es de tierra arcillosa, que se conforma mediante moldeo, prensado o extrusión, luego se cuecen en un horno a altas temperaturas, antes del quemado debe ser removido el exceso de agua de las piezas, tomando tiempo al aire libre. El proceso de enfriamiento se debe controlar, ya que puede afectar la calidad, agrietando los ladrillos, algo importante de notar es que debido a los distintos regímenes de temperatura-tiempo a los que se exponen estos materiales, los mampuestos hechos con la misma mezcla pueden tener propiedades mecánicas y físicas distintas.

Dentro de las características de este mampuesto sobresale su buen aislamiento térmico, buena resistencia a compresión y tracción, y durabilidad. Su uso generalmente es en muros y paredes.

3.2.1 CLASIFICACIÓN DEL LADRILLO

La norma INEN 293[35] identifica 5 modelos de ladrillos, con las siguientes características:

- **Ladrillo común (mambrón):** Es moldeado a mano.
- **Ladrillo a máquina:** Es moldeado mecánicamente y en producción continua.
- **Ladrillo reprensado:** Se prensa entre el moldeo y la cochura.
- **Ladrillo macizo:** Es fabricado a mano o a máquina sin perforaciones en su interior, o con perforaciones celulares que puedes llegar hasta el 20% de su volumen.
- **Ladrillo hueco:** Es el ladrillo fabricado a máquina con perforaciones en su interior, que pasan del 20 % de su volumen.

3.2.1.1 Clasificación de ladrillos macizos

En la norma INEN 297[36] se distinguen 3 tipos de ladrillos macizos según su calidad, deben cumplir con las siguientes condiciones.

---

[35] Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977). NORMA INEN 293 "LADRILLOS CREÁMICOS. DEFINICIONES. CLASIFICACIÓN Y CONDICIONES GENERALES" NUMERAL 3. Quito. INEN

[36] Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977). NORMA INEN 297 "LADRILLOS CERÁMICOS. REQUISITOS". Quito. INEN.

- **Tipo A:** Ladrillo reprensado, de color rojizo uniforme, con ángulos rectos y aristas rectas. No tendrá manchas, eflorescencias, quemados ni desconchados aparentes en caras y aristas.

- **Tipo B:** Ladrillo de máquina, de color rojizo, con ángulos rectos y aristas rectas, diferenciándose del tipo A en que puede tener pequeñas imperfecciones en sus caras exteriores, así como variaciones de rectitud en sus aristas hasta 5 mm.

- **Tipo C:** Ladrillo semejante al tipo B, diferenciándose de él en que puede, además, ser fabricado a mano y tener imperfecciones en sus caras exteriores, así como variaciones de rectitud en sus aristas hasta 8 mm.

3.2.1.2 Clasificación de ladrillos huecos

De acuerdo a la norma INEN 297[37], los ladrillos huecos deben ser piezas de máquina, de color rojizo, con ángulos rectos y aristas rectas. Estos mampuestos se clasifican según su uso industrial, estos son:

- **Tipo D:** Podrá emplearse en la construcción de muros soportantes, tabiques divisorios no soportantes y relleno de losas alivianadas de hormigón armado.

- **Tipo E:** Podrá emplearse únicamente en la construcción de tabiques divisorios no soportantes y rellenos de losas alivianadas de hormigón armado.

- **Tipo F:** Puede emplearse únicamente en el relleno de losas alivianadas de hormigón armado.

---

[37]Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977). NORMA INEN 297 “LADRILLOS CERÁMICOS. REQUISITOS”. Quito. INEN.

3.3 MORTERO

El mortero es una mezcla de materiales que tiene la función de adherir las unidades de mampostería con relativa estabilidad en el desarrollo de la construcción, dando rigidez a la hilada y permitiendo el asentamiento de la hilada siguiente. Esta mezcla es la más usada en algunos países, se compone de cemento, agregados (o áridos), y agua, además, de forma opcional se le puede añadir cal, pero generalmente no se usa este último componente. El agregado que se emplea comúnmente es la arena de cantera natural, debe ser bien graduada y estar libre de sustancias peligrosas e impurezas orgánicas.

La adherencia de la unidad de mampostería con el mortero es de naturaleza mecánica. Las fuerzas de atracción física son las que producen la adhesión, estas provienen de las fuerzas eléctricas intermoleculares de Van der Waals

3.2.1 PROPIEDADES DEL MORTERO

Referente a la norma INEN 2 518[38], las propiedades del mortero se clasifican en dos conjuntos diferentes, estos se relacionan a su estado plástico y a su estado endurecido.

De acuerdo a su *estado plástico*, se determina la facilidad de construcción de la mampostería, la cual a su vez incluye lo siguiente:

Trabajabilidad: Se relaciona con la consistencia del mortero, esta propiedad se entiende como la cualidad de poder extenderse fácilmente con un bailejo en las separaciones y agrietamientos del mampuesto.

Retención de agua y capacidad de retención de agua: Esta propiedad mide la capacidad de un mortero para mantener su plasticidad cuando este en contacto

[38] Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). NORMA INEN 2 518 “MORTEROS PARA UNIDADES DE MAMPOSTERÍA. REQUISITOS”. Quito. INEN.

con la unidad de mampostería (o cuerpo absorbente), esta característica da tiempo al obrero para asentar la pieza y ajustarla. Es importante notar que esta propiedad incide ampliamente en la velocidad de endurecimiento y en la resistencia a compresión, como ejemplo de esta última anotación se puede mencionar que una mezcla que no retiene agua no permite la hidratación del cemento. La retención del agua puede ser mejorada añadiendo cal, pero por lo general no se usa este componente.

Características del endurecimiento: El endurecimiento del mortero se relaciona con las características del fraguado.

El *estado endurecido* del mortero contribuye en la determinación del comportamiento final de la mampostería, incluyendo la adherencia, durabilidad, y resistencia a compresión.

Adherencia: Debido a que el objetivo del mortero es adherir, esta es una de las propiedades más importantes que *mide la capacidad del mortero para absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie que une el mortero con la estructura*, para lograr un contacto profundo y completo con las irregularidades, para esto se requiere que la superficie de la pieza de mampostería sea tan rugosa como sea posible y permita la unión mecánica del mortero y además tener un nivel de absorción adecuado y compatible con la mezcla del mortero.

Extensibilidad y flujo plástico: La extensibilidad indica la máxima elongación posible bajo fuerzas de tracción y el flujo plástico (o creep) contribuye flexibilidad a la mampostería.

Resistencia a la compresión: Esta propiedad determina al mortero como una unión resistente, y se considera como la base para determinar la compatibilidad de los materiales que componen la mezcla, además, esta característica se relaciona con otras propiedades, como la resistencia a la tracción y absorción. Cuando este material deba soportar cargas altas y sucesivas se requiere de una

alta resistencia a la compresión. Es primordial destacar que morteros secos dan mayores resistencias que los morteros húmedos, ya que estos pueden ser más densamente compactos, mientras las mezclas plásticas dan resultados más uniformes, esto quiere decir que *la resistencia depende ampliamente del contenido de cemento y de la relación agua-cemento*.

Durabilidad: Esta propiedad mide la resistencia del mortero a agentes externos, como por ejemplo bajas temperaturas, penetración del agua, desgaste por abrasión, retracción al secado, eflorescencias, agentes corrosivos, o choques térmicos, entre otros, evitando el daño de sus condiciones físico-químicas.

3.2.2.1 Contribución de los materiales del mortero a sus propiedades

Cada componente del mortero aporta específicamente en el desempeño del mortero, a continuación, se menciona como aporta cada uno de esos materiales.

Cemento: El cemento portland, es un tipo de cemento hidráulico, es el que más se usa en morteros para mampostería, este material contribuye a durabilidad y a la resistencia de compresión. El mortero para mampostería comúnmente contiene cemento portland y finos, tiene aditivos como incorporadores de aire y agentes impermeabilizantes que disminuyen la excesiva permeabilidad de la pasta. Mientras que, el cemento de mortero es de tipo hidráulico, similar al de mampostería, pero con bajos contenidos de aire e incorpora un elemento para la resistencia a la adherencia por flexión.

Cal: La cal hidratada aporta trabajabilidad, capacidad de retención de agua y elasticidad. En presencia del agua este material viaja a través de la mampostería, y es depositada en las fisuras y agrietamientos cuando el agua se evapora, este proceso a su vez puede provocar algo de lixiviación. El cemento y la cal contribuyen con la resistencia de adherencia, la combinación de estos materiales está presente en cementos para mampostería y cementos para morteros.

Áridos: Son arenas naturales o procesadas, es el mayor componente en volumen y masa en el mortero. Este agregado colabora en economía, resistencia a la compresión, trabajabilidad y reducción de la retracción, este último término se relaciona con una característica que se incluye en el estado endurecido del mortero. La retracción refiere principalmente a reacciones químicas de hidratación de la mezcla, la arena mejora este problema en parte, ya que forma un esqueleto que evita cambios de volumen y agrietamiento. Las arenas gruesas producen pastas ásperas, pero con resistencias altas, mientras que las arenas finas disminuyen la adherencia; además, si se quiere tener la misma consistencia que la pasta con agregados gruesos se debe agregar más agua. Se recomienda el uso de arenas bien graduadas, y mejor aún si tienen partículas redondeadas, esto produce una mezcla trabajable y con buena adherencia. Generalmente las arenas naturales (arenas de ríos, depósitos sedimentarios, entre otros) proporcionan un mortero con resistencias más altas que los que incorporan arenas de cantera (obtenidas por trituración o por medio de voladura).[39]

Agua: Aporta en la trabajabilidad del mortero, hidrata el cemento y facilita la carbonatación de la cal (en el caso que se use cal en la mezcla). La cantidad de agua que debe usarse en el mortero debe concordar con lo manejable de la pasta, tomando en cuenta que las unidades de mampostería absorben rápidamente el líquido apenas entran en contacto, pero no sin dejar de lado la relación agua-cemento, ya que esto puede afectar la resistencia a compresión del mortero. El agua que se emplee debe estar limpia y libre de agentes que perjudiquen el mortero.

Aditivos: Se clasifican en incorporadores de aire, retenedores de agua, mejoradores de la trabajabilidad, acelerantes de fraguado, entre otros.[40].

---

[39] Sánchez D., (2001). Tecnología del Mortero y del Concreto. Colombia.

[40] Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). NORMA INEN 2 518 “MORTEROS PARA UNIDADES DE MAMPOSTERÍA. REQUISITOS”. Quito. INEN.

3.2.2 TIPOS DE MORTEROS

La norma INEN 2 518[41] establece 6 tipos de mortero, los clasifica según los materiales cementantes:

- Cemento portland - cal hidratada
- Cemento para mampostería
- Cemento portland – cemento para mampostería
- Cemento para mortero

En la norma mencionada se detalla los requisitos para cada mortero descrito.

3.4 MURETES

3.4.1 DEFINICIÓN

Se refiere a los especímenes de mampostería simple (bloque y ladrillo) que van a construirse para el desarrollo de este proyecto. Estos muretes se ensayarán a tracción diagonal para determinar la resistencia a corte de cada tipo de mampostería, pero antes de su construcción se debe conocer los requisitos del espécimen para que el ensayo se aplique de forma correcta.

---

[41] Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). NORMA INEN 2 518 “MORTEROS PARA UNIDADES DE MAMPOSTERÍA. REQUISITOS”. Quito. INEN.

3.4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MURETES

3.4.2.1 Dimensiones del murete

El código NEC – SE - MP [42], recomienda que los muretes a ensayarse sean cuadrados, mínimo con 4 hiladas, y una arista igual o mayor a 60 cm, a fin de tener resultados representativos. No se deben usar muretes más pequeños debido a que estos arrojan resultados mayores para la misma albañilería[43], se podrían usar especímenes más pequeños, siempre y cuando se calibren los resultados. Para este proyecto se van a realizar 10 muretes de bloque con una arista aproximada de 80 cm y 9 muretes de ladrillo con una arista aproximada de 65 cm.

3.4.2.2 Requisitos para la construcción del murete

Cada murete se va a elaborar en condiciones similares a una construcción, tanto en mano de obra como el uso de las mismas herramientas que se usan en la construcción. Se recomienda taponar las unidades huecas que están en contacto con los cabezales (se refiere a los dispositivos de acero que ayuda en la distribución de carga de forma diagonal a los muretes) haciendo uso del mortero 1:3, para evitar fallas locales por concentración de esfuerzos (o trituración)[44].

---

[42]Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). NORMA DE LA CONSTRUCCIÓN "MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL". Quito. NEC.

[43] Gallegos H., Casabone C., (2005). Albañilería Estructural. Perú.

[44] San Bartolomé A. (2008). Comentarios a la Norma Técnica de Edificación E.070 "Albañilería". Capítulo 5. Lima, SENCICO.

Las mamposterías se van a elaborar con un mortero de menor resistencia comparándolo con la resistencia del mampuesto, esta consideración se basa en la filosofía de Crisafulli[45].

Siguiendo la normativa del código NEC – SE - MP [46], los muretes tendrán un tiempo de curado de 28 días, donde, los primeros 14 días permanecerán cubiertos con polietileno, y los días restantes se mantendrán descubiertos a condiciones ambientales. Además, se debe realizar un refrentado en las zonas de carga para poderlo acoplar al dispositivo de ensayo, para el cual se recomienda una alta resistencia.

3.4.2.3 Tipos de prismas

Para la elaboración de este proyecto se fabricarán 2 tipos prismas, se han escogido los mampuestos que más se usan en el campo de la construcción, estos son: ladrillo macizo de fabricación artesanal y bloque hueco de hormigón.

---

[45] Crisafulli F., (1997). Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills. (pp. 31-33). PhD Thesis University of Canterbury. New Zealand.

[46]Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). NORMA DE LA CONSTRUCCIÓN "MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL". Quito. NEC

CAPITULO 4
METODOLOGÍA

4.1 EVALUACIÓN DE MATERIALES

A continuación, se detalla los diferentes tipos de ensayos realizados en los materiales a usarse para determinar sus propiedades.

4.1.1 BLOQUE

La evaluación para esta unidad de mampostería se basa en la Norma INEN 3066[47].

Fotografía 4.1 Lote de Bloques

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Es conveniente destacar que para este elemento se hizo uso del mismo lote con el que se desarrolló la Tesis de López V. y Ushiña W[48], por lo tanto en este

[47] Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2016). NORMA INEN 3066 “BLOQUES DE HORMIGÓN. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO”. Quito. INEN

documento se pueden encontrar, registros y resultados de los ensayos para el bloque usado. El bloque adquirido es de tipo artesanal vibroprensado, se adquirió de una fábrica ubicada en sector de Cashapamba, en el cantón Rumiñahui, este establecimiento elabora aproximadamente 3000 bloques por día.

4.1.1.1 Dimensiones

La unidad de mampostería a usarse corresponde a un bloque hueco de hormigón fabricado artesanalmente con las siguientes dimensiones nominales:

Largo: 40 cm
Ancho: 15 cm
Alto: 20 cm

Para la determinación de las dimensiones se utilizan 3 especímenes. Debido al tipo de fabricación empleada las dimensiones de las unidades de mampostería presentadas no son las reales pero las mismas no sobrepasan los 2 milímetros por lo cual es considerada despreciable la variación.

4.1.1.2 Resistencia a compresión

Para el ensayo a compresión se escogieron 3 mampuestos del lote, los resultados arrojados nos dan un valor promedio de resistencia bruta de 24.58 kg/cm^2 y de resistencia neta promedio de 47.12 kg/cm^2 (4.62 MPa).

Según el uso que se le va a dar a este elemento, se lo clasifica como un bloque de tipo B destinado a paredes no estructurales (o mampostería simple), se ha establecido que la resistencia neta mínima de este tipo de bloque es de 3.5 MPa

---

[48] López V., Ushiña W., (2017). Determinación del Módulo de Elasticidad d Mampostería de Bloque No Estructural Utilizada en la Vivienda Ecuatoriana. (pp.38-42). Tesis EPN. Quito.

(ver tabla 4.1), por lo tanto, se establece que la unidad escogida si cumple con la normativa vigente.

Tabla 4.1 Clasificación de Bloques

Descripción	Resistencia neta mínima a la compresión simple (MPa)*		
	Clase A	Clase B	Clase C
Promedio de 3 bloques	13,8	4,0	1,7
Por bloque	12,4	3,5	1,4
* 1 MPa = 10,2 kg/cm^2			

Fuente: Norma INEN 3066

4.1.1.3 Absorción

Para la estimación de esta propiedad, se necesitan de 3 elementos del lote total. El bloque a usarse tiene densidad de 1591.92 kg/cm³, y una absorción de agua del 14%. Es importante resaltar que en la normativa bajo la cual se está evaluando esta propiedad no se menciona un límite a cumplir para bloques tipo B, solo se han establecido valores máximos de absorción para bloques de tipo A.

4.1.2 MORTERO

Para determinar la resistencia de este elemento se realizó el ensayo a compresión bajo la Norma INEN 2 518[49].

Para encontrar el mortero más adecuado a los requerimientos planteados en la sección 3.4.2.2, se procedió a fabricar 5 probetas con distintas combinaciones, estas relaciones (cemento:arena) a ensayarse son: 1:3, 1:4, 1:5, 1:6 y 1:7.

Obedeciendo la filosofía mencionada en la sección 2.4.2 se ha escogido la relación 1:7, ya que la resistencia de este mortero es de 30.21 kg/cm^2 y es menor

[49] Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). NORMA INEN 2 518 "MORTEROS PARA UNIDADES DE MAMPOSTERÍA. REQUISITOS". Quito. INEN.

a la resistencia neta del bloque. En varias normativas se recomienda hasta una relación de cemento y arena de 1:7, por lo tanto, para adherir los ladrillos se hará uso de esta misma composición, además de esta manera se podrá comparar los dos tipos de mampostería en iguales condiciones.

Los respectivos ensayos y cálculos y las tablas pueden ser encontrar en la Tesis de López V. y Ushiña W[50], ya que se emplearon los mismos componentes que se usaron en el proyecto referido.

4.1.3 LADRILLO

El elemento corresponde a un ladrillo macizo elaborado de forma artesanal, por sus características se lo determina de tipo C, según la clasificación establecida en la Norma NTE INEN 297[51]. Este material se lo adquirió de un horno de ladrillos ubicado en el sector de Amagasí de El Inca, el propietario de este establecimiento es el señor Wilson Gómez, aproximadamente produce 1000 ladrillos por día.

Fotografía 4.2 Moldeado de ladrillos, fabricación artesanal

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

[50]López V., Ushiña W., (2017). Determinación del Módulo de Elasticidad d Mampostería de Bloque No Estructural Utilizada en la Vivienda Ecuatoriana. (pp. 58-62). Tesis EPN. Quito.

[51] Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977). NORMA INEN 297 “LADRILLOS CERÁMICOS”. Quito. INEN.

El lote de ladrillos a evaluarse debe cumplir con los requisitos resaltados en la tabla 4.2.

Fotografía 4.3 Lote de Ladrillos

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Tabla 4.2 Requisitos de resistencia mecánica y absorción que deben cumplir los ladrillos

Tipo De Ladrillo	Resistencia mínima a la compresión MPa* (ver nota 1)		Resistencia mínima a la flexión MPa* (Ver nota 1)	Absorción máxima de humedad %
	Promedio de 5 unidades	Individual	Promedio de 5 unidades	Promedio de 5 unidades
macizo tipo A	25	20	4	16
macizo tipo B	16	14	3	18
macizo tipo C	8	6	2	25
hueco tipo D	6	5	4	16
hueco tipo E	4	4	3	18
hueco tipo F	3	3	2	25
Método de ensayo	INEN 294		INEN 295	INEN 296

Fuente: Norma INEN 297

4.1.3.1 Variación dimensional

El ladrillo cumple con las siguientes dimensiones aproximadas:

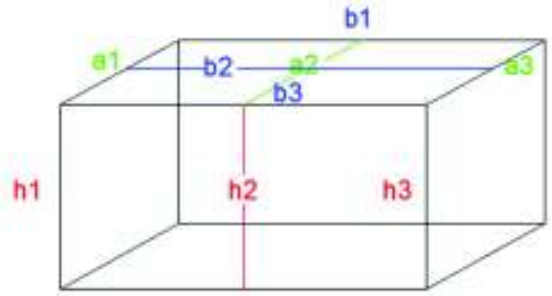
Largo: 33 cm

Ancho: 15 cm

Alto: 9 cm

Para evaluar este lote se escogieron 10 unidades del lote total, y se tomaron 3 medidas en cada dirección (ver figura 4.1).

Figura 4.1: Dimensiones de unidad de mampostería



Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Debido al tipo de fabricación empleada las dimensiones de las unidades de mampostería no son las mismas en todos los elementos, su variación dimensional no sobrepasa el 4% (ver tabla 4.2), este requisito ha sido establecido en la Norma INEN 293[52].

[52] Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977). NORMA INEN 297 "LADRILLOS CERÁMICOS. REQUISITOS". Quito. INEN

Tabla 4.3 Dimensiones unidades de mampostería

Ladrillo	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h (cm) promedio	% variación	a1 (cm)	a2 (cm)	a3 (cm)	a (cm) promedio	% variación	b1 (cm)	b2 (cm)	b3 (cm)	b (cm) promedio	% variación
1	9.6	9.7	9.4	9.57	1.27%	14.6	14.7	14.5	14.60	0.07%	33.2	33.1	33.5	33.27	0.73%
2	9.5	9.7	9.7	9.63	1.90%	14.4	14.5	14.6	14.50	0.62%	33.5	33.4	33.3	33.40	1.12%
3	10	9.7	9.4	9.70	2.65%	14.3	14.2	14.2	14.23	2.47%	31.9	31.7	31.8	31.80	3.72%
4	9.4	9.6	9.7	9.57	1.27%	15	15.1	15.2	15.10	3.50%	32.6	32.7	32.8	32.70	1.00%
5	9	9.5	10	9.50	0.53%	15.2	15	15.2	15.13	3.70%	34.2	33.6	33.5	33.77	2.24%
6	9.4	9.4	9.4	9.40	0.53%	14.4	14.6	14.6	14.53	0.41%	33	33.2	33.1	33.10	0.21%
7	9.2	9.3	9.1	9.20	2.65%	14.4	14.2	14.1	14.23	2.47%	32.6	32.9	32.8	32.77	0.79%
8	9.2	9.4	9.5	9.37	0.85%	14.3	14.4	14.6	14.43	1.10%	33	33.1	33	33.03	0.00%
9	9.2	9.5	9.4	9.37	0.85%	14.6	14.3	14.7	14.53	0.41%	33	32.8	32.8	32.87	0.48%
10	9.2	9.1	9.3	9.20	2.65%	14.6	14.5	14.6	14.57	0.14%	33.7	33.9	33.2	33.60	1.73%
PROMEDIO				9.45					14.59					33.03	

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

4.1.3.2 Resistencia a compresión

Para el ensayo de resistencia a compresión se sigue los pasos solicitados en la Norma INEN 294[53].

Para este ensayo se requiere de 5 ladrillos previamente divididos en 2 como se muestra en la fotografía 4.4, se debe tomar medidas en cada pieza, además se debe refrentar las caras perpendiculares a donde se va aplicar la carga, para así obtener una superficie plana en el mampuesto, además para obtener una buena distribución de la carga se hace uso de una platina de acero.

Fotografía 4.4 Muestras de Ladrillos, divididos en 2 y refrentados

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

La fórmula que se requiere para determinar lo solicitado es la que se muestra a continuación:

$$C = \frac{P}{A} \tag{4.1}$$

Donde:

C= Resistencia a la compresión.

P= Carga de rotura.

---

[53] Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977). NORMA INEN 294 "LADRILLOS CERÁMICOS. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN". Quito. INEN.

A= Área de la sección.

Fotografía 4.5 Ensayo a compresión

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

La resistencia a compresión promedio de los elementos ensayados es de 1.99 MPa, este valor no cumple con la resistencia mínima que deben tener este tipo de ladrillos (ver tabla 4.2), según la norma referida. Los datos y cálculos obtenidos de esta prueba se presentan en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Ensayo a compresión ladrillo

Ladrillo	a (cm)	l (cm)	A (cm²)	P (kg)	C (kg/cm²)
1	14,60	17,20	251,12	5346	21,29
	14,50	16,30	236,35	3921	16,59
2	14,00	16,20	226,80	4939	21,78
	14,20	17,40	247,08	4850	19,63
3	14,00	15,60	218,40	4089	18,72
	14,20	16,70	237,14	4225	17,82
4	15,00	16,40	246,00	4868	19,79
	15,20	16,50	250,80	5492	21,9
5	15,20	16,70	253,84	6205	24,44
	15,20	16,50	250,80	5231	20,86
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm²)					20,28
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)					1,99

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

4.1.3.3 Resistencia a flexión

Para obtener esta propiedad se requiere de 5 ladrillos completos, primero se procede a tomar las dimensiones de cada elemento. Para este ensayo se debe seguir los lineamientos de la Norma INEN 295[54], donde se menciona el requerimiento de 2 apoyos en la superficie inferior de la cara mayor del ladrillo, con una separación de 15 cm entre sí, para la aplicación de la carga se requiere de un apoyo ubicado en la parte central de la cara superior (ver fotografía 4.6).

La expresión matemática para determinar lo requerido es:

$$R = \frac{3Gl}{2bd^2} \tag{4.2}$$

Donde:

R= Modulo de rotura.
G= Carga de rotura.
L= Distancia entre los apoyos.
b= Longitud menor de cara en contacto con la carga.
d= Altura promedio del ladrillo, se toman dos dimensiones una al lado derecho de la cara, y otra al otro lado.

[54] Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977). NORMA INEN 295 "LADRILLOS CERÁMICOS. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN". Quito. INEN.

Fotografía 4.6 Ensayo a Flexión

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Este ladrillo tiene una resistencia a la flexión de 0.78 MPa, menor al límite que se requiere para este tipo de ladrillos (ver tabla 4.2). Los datos y resultados obtenidos en este procedimiento se encuentran en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 Resultados Resistencia a Flexión

Ladrillo	l (cm)	b (cm)	d1 (cm)	d2 (cm)	dpromedio (cm)	G (kg)	C (kg/cm²)
6	15,00	14,53	9,40	9,40	9,40	516,00	9,04
7	15,00	14,23	9,20	9,10	9,15	288,00	5,44
8	15,00	14,43	9,20	9,50	9,35	532,00	9,49
9	15,00	14,53	9,20	9,40	9,30	523,00	9,36
10	15,00	14,57	9,20	9,30	9,25	369,00	6,66
RESISTENCIA A FLEXIÓN (kg/cm²)							8,00
RESISTENCIA A FLEXIÓN (MPa)							0,78

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

4.1.3.4 Absorción

Se emplean 5 unidades de mampostería según la Norma INEN 296[55], para determinar este parámetro se requiere sumergir la pieza en agua por un día, luego obtener su peso, previamente a este paso se recomienda antes de colocar el ladrillo en la balanza secarlo con un toalla húmeda. Luego se debe secar la pieza colocándolo en un horno, se debe ir pesando el ladrillo varias veces hasta que su peso se mantenga constante, ese valor final será el peso desecado.

Fotografía 4.7 Ladrillos sumergidos en agua

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.8 Ingreso de ladrillos en el horno para secado

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

[55] Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2015). NORMA INEN 296 "LADRILLOS CERÁMICOS. DETERMINACIÓN DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD". Quito. INEN.

Esta propiedad se determina con la siguiente expresión:

$$Absorción\ \% = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100 \quad (4.3)$$

Donde:

P_1= Masa desecada

P_2= Masa después de un día de sumergir el ladrillo en agua

Para los ensayos de absorción se tiene un resultado del 25% cumpliendo con el requisito establecido en la tabla 4.2.

Tabla 4.6 Resultados porcentaje de absorción

Muestra	Peso Mojado (g)	Peso seco (g)	% Absorción
1	8549,6	6798,6	25,76
2	7755,5	6176,7	25,56
3	8240,1	6640,2	24,09
4	8342,4	6696,5	24,58
5	8118,1	6521,2	24,49
		PROMEDIO	24,90

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

4.2 ENSAYO A COMPRESION DIAGONAL

4.2.1 ELABORACION DE MURETES

El procedimiento a seguir para la construcción de los especímenes para el ensayo a compresión diagonal es el siguiente:

a) Se usa mano de obra local y herramientas propias de la construcción.

b) Las unidades se van adherir con mortero de 1:7, cuya resistencia a la compresión es de 30.21 kg/cm².

c) En los muretes de bloque se requiere rellenar las piezas huecas que van a estar en contacto con los cabezales.

d) Se cubre con polietileno al acabar y después de 14 días se descubre (ver fotografía 4.11).

e) Unos días antes del ensayo se debe realizar un refrentado en las esquinas donde se van a colocar los cabezales, con un grosor aproximado de 3mm, la pasta a usarse debe tener una resistencia alta para esto se escogió una relación de 1:2 (cemento y arena fina), para los muretes que no presentan una forma cuadrada, se puede hacer uso de un refrentado más grueso para corregir esta irregularidad[56] (ver fotografía 4.12).

Fotografía 4.9 Especímenes de mampostería de bloque

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

[56] San Bartolomé A. (2008). Comentarios a la Norma Técnica de Edificación E.070 "Albañilería". Capítulo 5. Lima, SENCICO.

Fotografía 4.10 Especímenes de mampostería de ladrillo

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.11 Especímenes cubiertos de polietileno

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.12 Refrentado de esquinas de muretes

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

4.2.2 INSTRUMENTACIÓN A USAR.

A continuación, se muestran los distintos instrumentos que se requieren para el ensayo a compresión diagonal.

Fotografía 4.13 Marco de carga

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.14 Cilindro Hidráulico de doble acción capacidad de 100 T

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.15 Celda de Carga capacidad de 20 T

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.16 Cabezal

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.17 UPM para registro de datos.

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.18 Bomba Hidráulica capacidad 10000 Psi

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.19 LVDT mide desplazamientos

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.20 Computadora para registro de datos

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

4.2.3 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO.

a) Antes de colocar los muretes en el dispositivo de ensayo, se debe tomar las dimensiones de espesor, ancho, altura y diagonal de cada murete (ver figura 4.4).

b) Se coloca una identificación clara a cada uno de los muretes de tal manera que puedan reconocerse en el momento e incluso después del ensayo.

c) Se coloca el cabezal inferior en un punto establecido previamente para la correcta ubicación del espécimen.

d) Se procede a movilizar los muretes para ser ubicada como se muestra en la fotografía 4.20.

e) Con ayuda de neopreno se estabilizan los muretes, se coloca el cabezal el superior y se acopla la maquinaria.

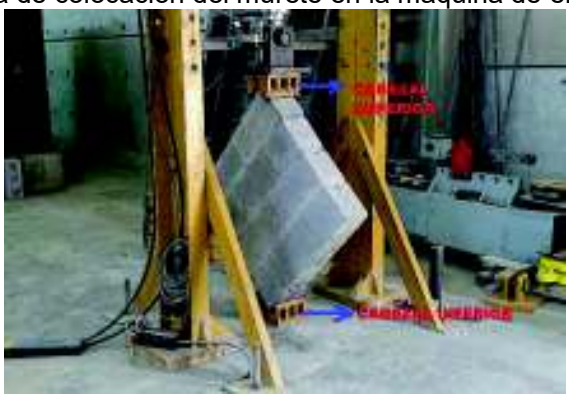
f) Se adecua el deformímetro que medirá las respectivas deformaciones.

g) Se comienza a aplicar una carga con velocidad constante hasta que el murete llegue a su punto de rotura.

h) Se obtiene un registro fotográfico de las fallas presentadas.

i) Los datos son registrados en un ordenador previsto para este tipo de funciones.

Fotografía 4.20 Forma de colocación del murete en la máquina de ensayo

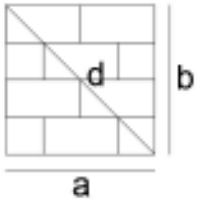


Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

4.3 RECOPILACION DE DATOS

4.3.1 RESULTADOS PREVIOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE MURETES DE BLOQUE

Figura 4.4 Dimensiones de Especímenes

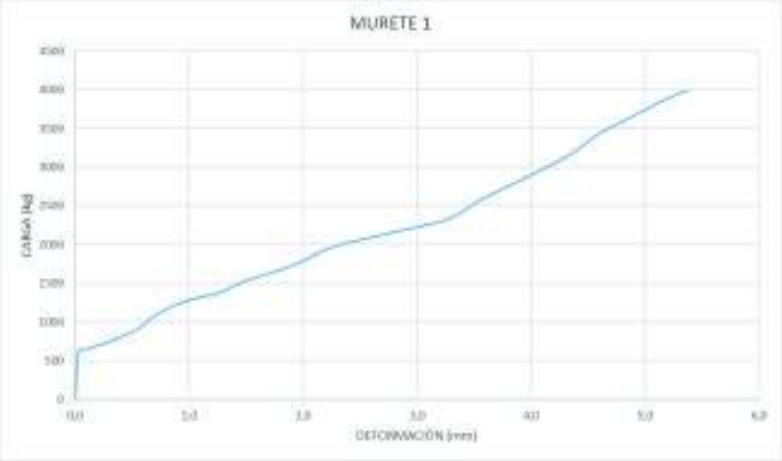


Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Muestra No. 1

a (cm)	b (cm)	d (cm)	P (T)	Deformación máxima (mm)
82	83	114	3.99	5.368

Figura 4.5 Carga vs Deformación Murete 1

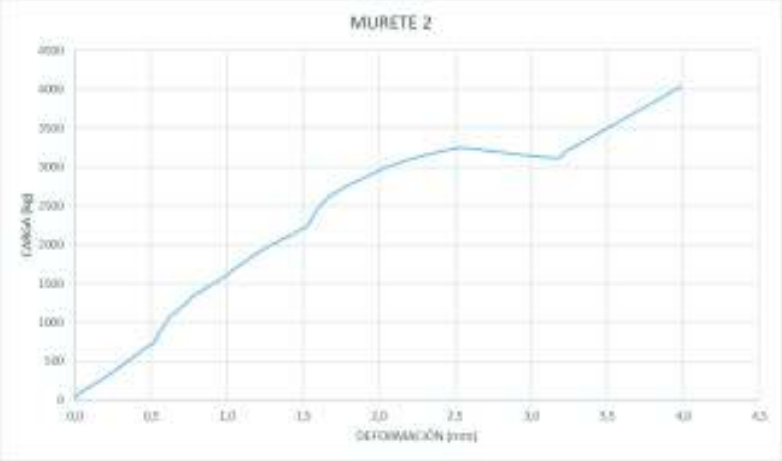


Elaboración: Resultados Centro de Investigación de la Vivienda

Muestra No. 2

a (cm)	b (cm)	d (cm)	P (T)	Deformación máxima (mm)
82.5	82	114	4.039	3.985

Figura 4.6 Carga vs Deformación Murete 2

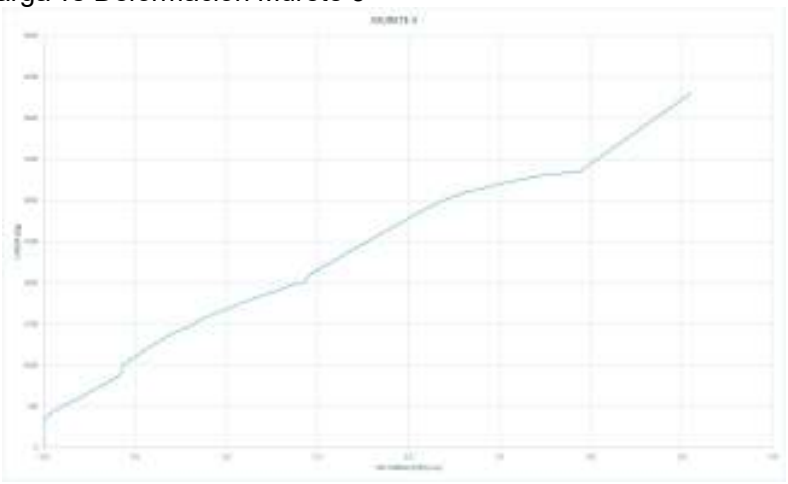


Elaboración: Resultados Centro de Investigación de la Vivienda

Muestra No. 3

a (cm)	b (cm)	d (cm)	P (T)	Deformación máxima (mm)
82.4	82	116	4.302	3.549

Figura 4.7 Carga vs Deformación Murete 3

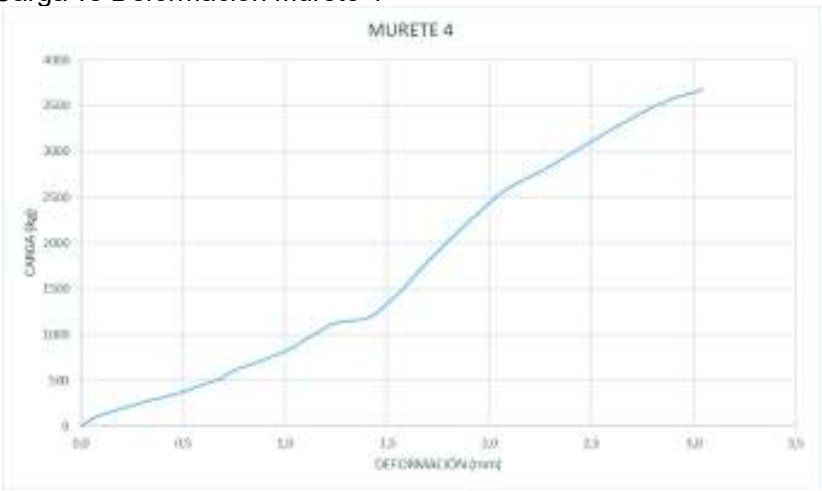


Elaboración: Resultados Centro de Investigación de la Vivienda

Muestra No. 4

a (cm)	b (cm)	d (cm)	P (T)	Deformación máxima (mm)
82	83	116	3.686	3.039

Figura 4.8 Carga vs Deformación Murete 4

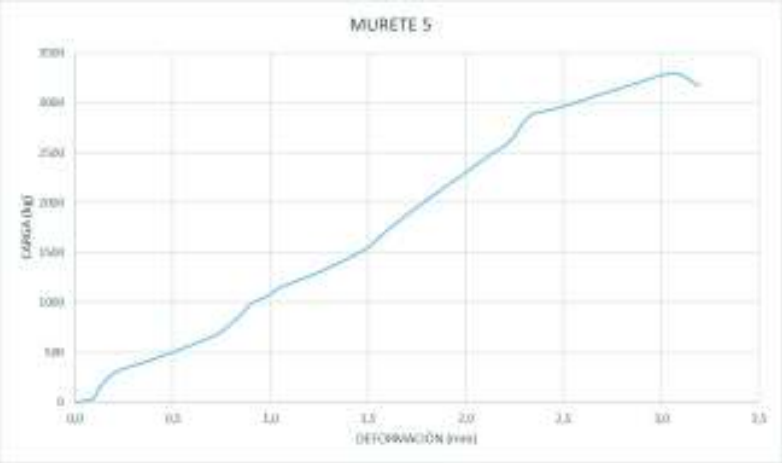


Elaboración: Resultados Centro de Investigación de la Vivienda

Muestra No. 5

a (cm)	b (cm)	d (cm)	P (T)	Deformación máxima (mm)
82	83.5	115	3.293	3.084

Figura 4.9 Carga vs Deformación Murete 5

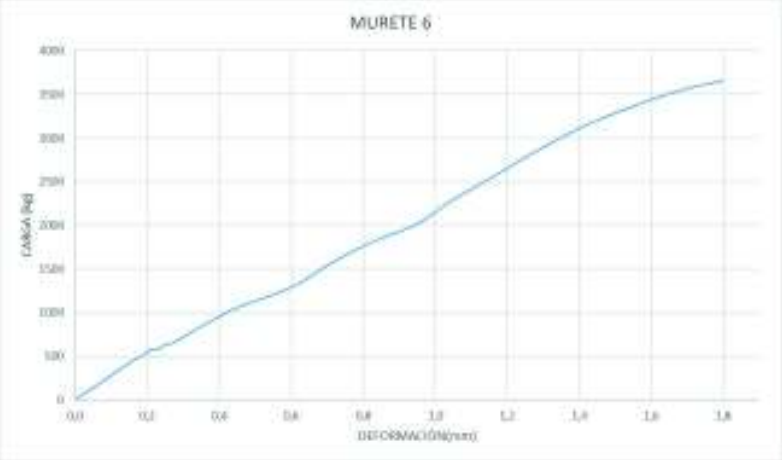


Elaboración: Resultados Centro de Investigación de la Vivienda

Muestra No. 6

a (cm)	b (cm)	d (cm)	P (T)	Deformación máxima (mm)
82	83	117	3.655	1.798

Figura 4.10 Carga vs Deformación Murete 6



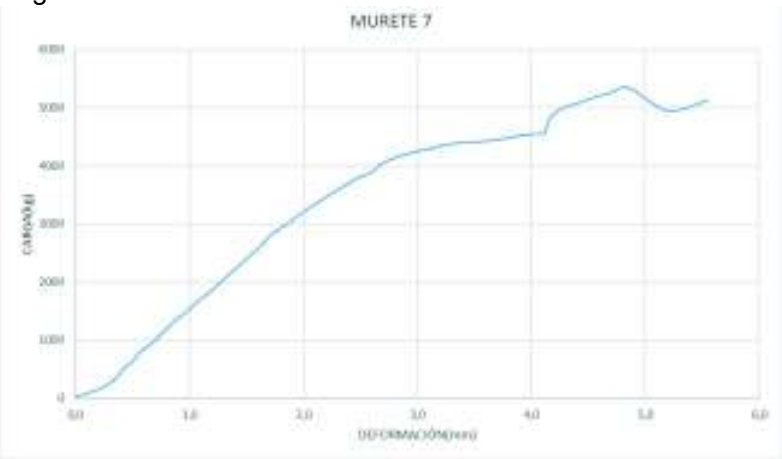
Elaboración: Resultados Centro de Investigación de la Vivienda

Muestra No. 7

a (cm)	b (cm)	d (cm)	P (T)	Deformación máxima (mm)

82	82	115	5.334	4.698

Figura 4.11 Carga vs Deformación Murete 7

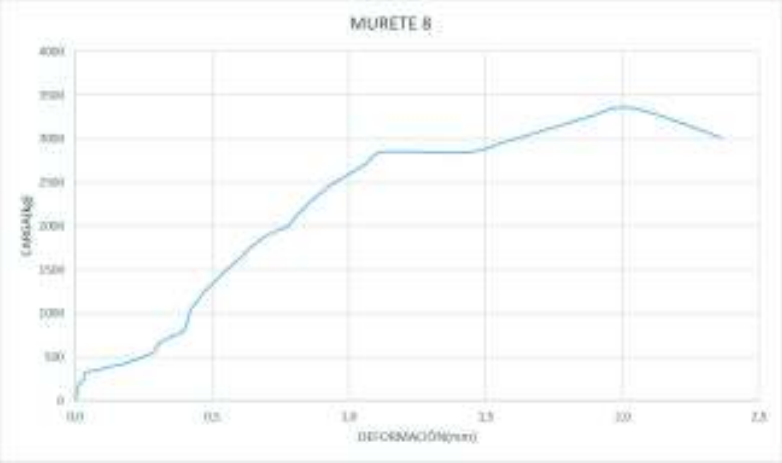


Elaboración: Resultados Centro de Investigación de la Vivienda

Muestra No. 8

a (cm)	b (cm)	d (cm)	P (T)	Deformación máxima (mm)
82	82.5	116	3.349	2.037

Figura 4.12 Carga vs Deformación Murete 8



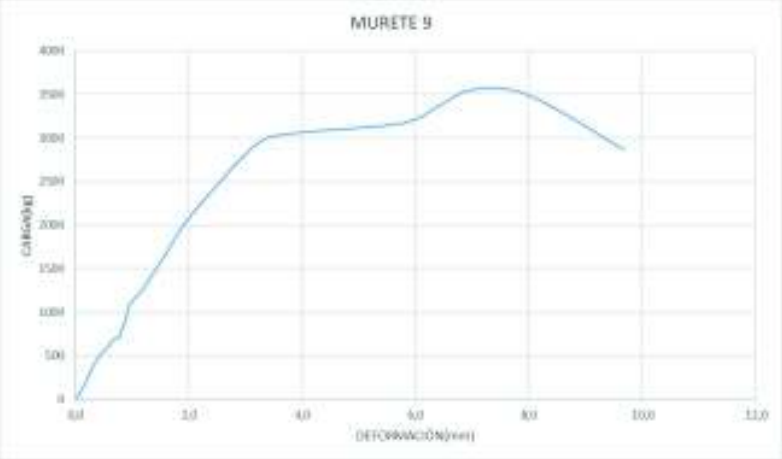
Elaboración: Resultados Centro de Investigación de la Vivienda

Muestra No. 9

a (cm)	b (cm)	d (cm)	P (T)	Deformación

				máxima (mm)
82	82.5	115	3.554	7.018

Figura 4.13 Carga vs Deformación Murete 9

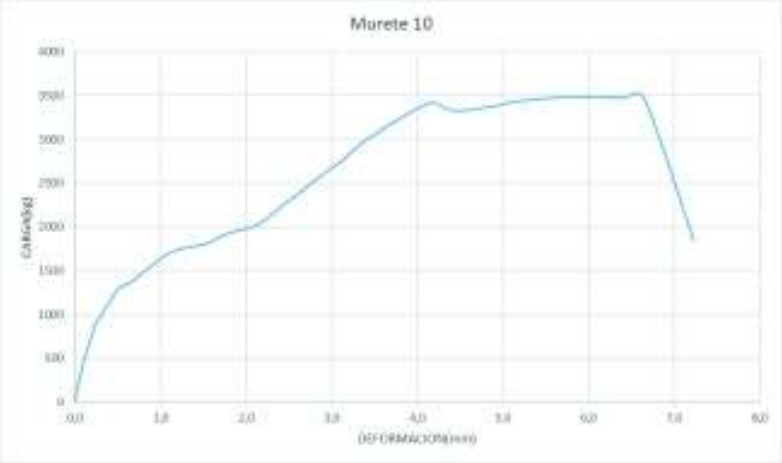


Elaboración: Resultados Centro de Investigación de la Vivienda

Muestra No. 10

a (cm)	b (cm)	d (cm)	P (T)	Deformación máxima (mm)
82	83	115	3.482	5.911

Figura 4.14 Carga vs Deformación Murete 10



Elaboración: Resultados Centro de Investigación de la Vivienda

Toda la información referente a los valores de carga aplicada y deformación que sirvieron para el trazado de las curvas mostradas anteriormente se encuentran en el anexo 1.

4.3.2 RESULTADOS PREVIOS OBTENIDOS DE ENSAYO DE MURETES DE LADRILLO

Las dimensiones a, b, d se tomaron como se muestra en la figura 4.4, los valores de carga y deformaciones con los cuales se trazaron las curvas que se presentan a continuación, se encuentran en el anexo 2.

Muestra No. 1

a (cm)	b (cm)	d (cm)	P (T)	Deformación máxima (mm)
64.8	63.7	89	1.606	1.248

Figura 4.15 Carga vs Deformación Murete 1

Elaboración: Resultados Centro de Investigación de la Vivienda

Muestra No. 2

a (cm)	b (cm)	d (cm)	P (T)	Deformación máxima (mm)
64.5	64.5	89.5	1.377	2.141

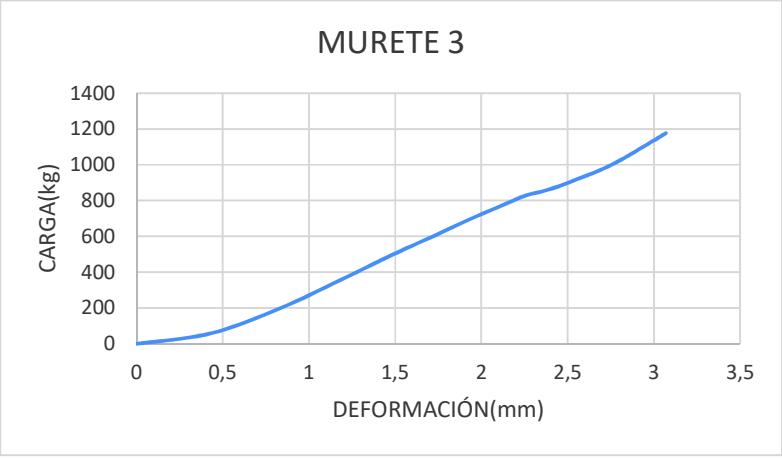
Figura 4.16 Carga vs Deformación Murete 2

Elaboración: Resultados Centro de Investigación de la Vivienda

Muestra No. 3

a (cm)	b (cm)	d (cm)	P (T)	Deformación máxima (mm)
64.5	63	90	1.177	3.07

Figura 4.17 Carga vs Deformación Murete 3

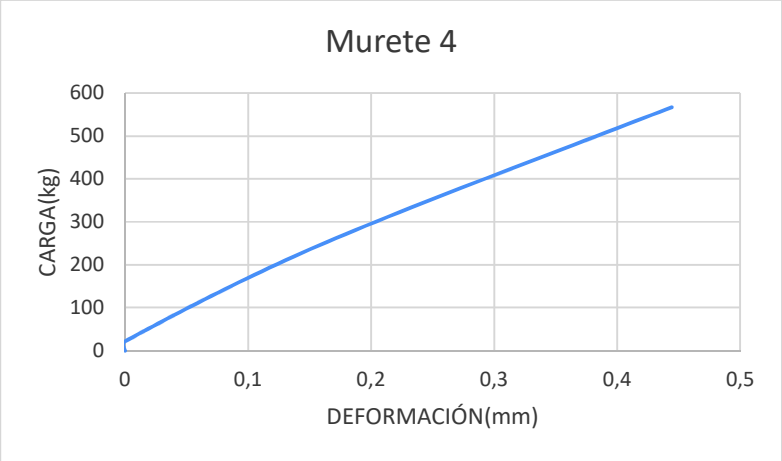


Elaboración: Resultados Centro de Investigación de la Vivienda

Muestra No. 4

a (cm)	b (cm)	d (cm)	P (T)	Deformación máxima (mm)
65.5	65	90.5	0.567	0.444

Figura 4.18 Carga vs Deformación Murete 4

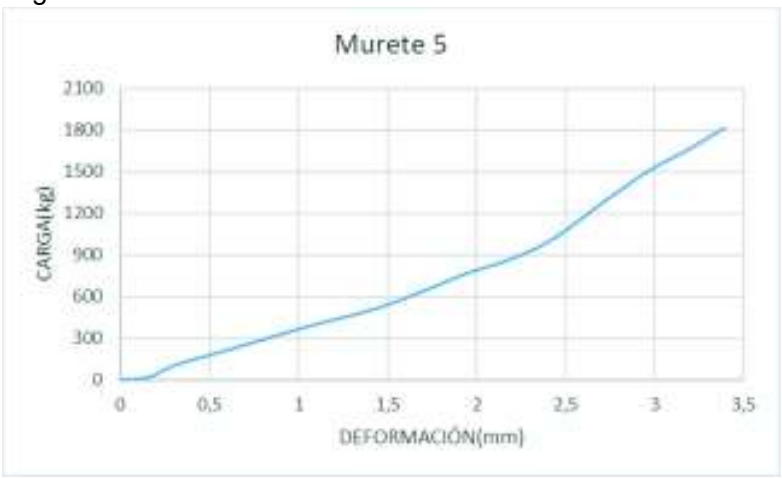


Elaboración: Resultados Centro de Investigación de la Vivienda

Muestra No. 5

a (cm)	b (cm)	d (cm)	P (T)	Deformación máxima (mm)
64	64	89	1.814	3.39

Figura 4.19 Carga vs Deformación Murete 5



Elaboración: Resultados Centro de Investigación de la Vivienda

Muestra No. 6

a (cm)	b (cm)	d (cm)	P (T)	Deformación máxima (mm)
65	65	89	0.907	2.94

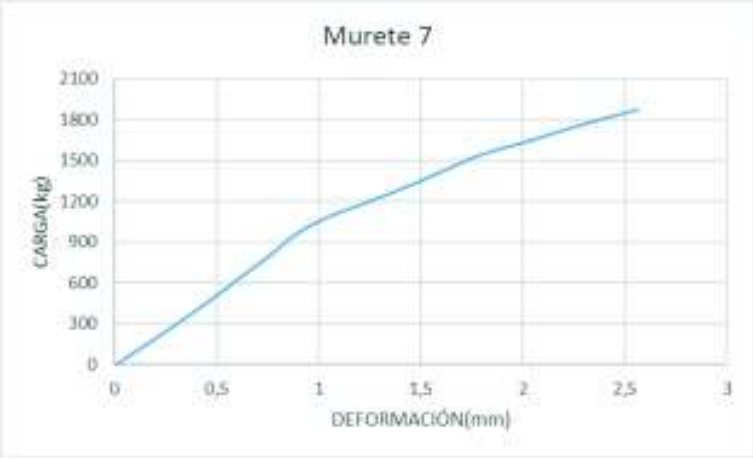
Figura 4.20 Carga vs Deformación Murete 6

Elaboración: Resultados Centro de Investigación de la Vivienda

Muestra No. 7

a (cm)	b (cm)	d (cm)	P (T)	Deformación máxima (mm)
65	64.3	90	1.873	2.563

Figura 4.21 Carga vs Deformación Murete 7



Elaboración: Resultados Centro de Investigación de la Vivienda

Muestra No. 8

a (cm)	b (cm)	d (cm)	P (T)	Deformación máxima (mm)
66.5	67.8	93	1.077	1.407

Figura 4.22 Carga vs Deformación Murete 8

Elaboración: Resultados Centro de Investigación de la Vivienda

Muestra No. 9

a (cm)	b (cm)	d (cm)	P (T)	Deformación máxima (mm)
64	63.5	88.5	0.68	0.952

Figura 4.23 Carga vs Deformación Murete 9

Elaboración: Resultados Centro de Investigación de la Vivienda

Las tablas donde se registran los datos de las curvas mostradas se muestran en el anexo 2.

4.4 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

4.4.1 MÉTODO EXPERIMENTAL

Para poder determinar la resistencia a compresión para los distintos tipos de mampostería por el mecanismo de falla a tracción diagonal, se van a seguir los lineamientos planteados por el SeismoStruct[57], ya que así se obtendrá un resultado que se pueda usar en este y otros programas computacionales, como Opensees.

4.4.1.1 Registro de fallas presentadas en los muretes de bloque

A continuación, se muestra el registro fotográfico de los especímenes ensayados.

Fotografía 4.21 Falla espécimen No.2

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

[57] Seismosoft, (2014). SeismoStruct v7.0 – A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures. Recuperado el 30 de julio: http://www.seismosoft.com.

Fotografía 4.22 Falla espécimen No.3

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.23 Falla espécimen No.4

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.24 Falla espécimen No.5

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.25 Falla espécimen No.6

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.26 Falla espécimen No.7

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.27 Falla espécimen No.8

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.28 Falla espécimen No.9

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.29 Falla espécimen No.10

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

4.4.1.2 Registro de fallas presentadas en los muretes de ladrillo

Fotografía 4.30 Falla espécimen No.1

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.31 Falla espécimen No.2

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.32 Falla espécimen No.3

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.33 Falla espécimen No.4

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.34 Falla espécimen No.5

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.35 Falla espécimen No.6

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.36 Falla espécimen No.7

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.37: Falla espécimen No.8

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Fotografía 4.38: Falla espécimen No.9

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

4.4.1.3 Determinación de la resistencia a corte

Para determinar la resistencia a corte de cada murete se debe realizar el cálculo según la expresión mostrada en Norma 0.70[58], esta fórmula coincide con la que se muestra en la NEC-SE-HM[59].

$$V_m = \frac{P}{Dt}\ (kg/cm^2) \tag{4.4}$$

[58] Servicio Nacional de Capacitación para la industria de la Construcción. (2006). NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.070 "ALBAÑILERÍA". Quito. SENCICO.

[59]Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). NORMA DE LA CONSTRUCCIÓN "ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO". Quito. NEC.

Donde:

Vm = Resistencia a corte por ensayo a compresión diagonal.
P= Carga máxima.
D= Longitud de la diagonal.
t = Espesor de la muestra.

Para determinar la resistencia a corte (f'_{ws}) para cada tipo de murete se toma el valor promedio de las muestras y se le resta de la desviación estándar[60].

Se recomienda que el valor de resistencia a corte debe ser menor al límite establecido por la siguiente expresión presentada por la Norma E0.70[61]:

$$V_{m\,lim} = 0.319\sqrt{f'_m}\ (MPa) \quad o \quad \sqrt{f'_m}\ (kg/cm^2) \tag{4.5}$$

Donde:

f'm = Resistencia a compresión de la mampostería.

Cálculos y resultados obtenidos para la mampostería de bloque

En la tabla 4.7. se muestran los valores empleados para determinar la resistencia a corte para este tipo de mampostería.

[60] Servicio Nacional de Capacitación para la industria de la Construcción. (2006). NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.070 "ALBAÑILERÍA". Quito. SENCICO.

[61] Servicio Nacional de Capacitación para la industria de la Construcción. (2006). NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.070 "ALBAÑILERÍA". Quito. SENCICO.

Tabla 4.7 Resultados de resistencia a corte de mamposterías de bloque

Murete	D(cm)	t(cm)	P(T)	fws (kg/cm²)
1	114	15	3,99	2,33
2	114	15	4,039	2,36
3	116	15	4,302	2,47
4	116	15	3,686	2,12
5	115	15	3,293	1,91
6	117	15	3,655	2,08
7	115	15	5,334	3,09
8	116	15	3,349	1,92
9	115	15	3,554	2,06
10	115	15	3,482	2,02
			Promedio	2,24
			Desv. Est.	0,37
			f'ws (kg/cm²)	1,86

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Para la mampostería de bloque en estudio se conoce que f´m = 16.66 kg/cm^2, la determinación de este parámetro se encuentra detallado en la Tesis López V., Ushiña W[62].

Reemplazando la variable en la ecuación 4.5 se tiene:

$$V_{m\,lim} = \sqrt{16.66} = 4.08\ kg/cm^2$$

Este valor obtenido se compara con el valor de la resistencia corte (f_{ws}):

$$f'_{ws} < V_{m\,lim}$$
$$1.86\ kg/cm^2 < 4.08\ kg/cm^2$$

Se puede ver que la resistencia a corte es menor al límite establecido, por lo tanto, el resultado obtenido es válido.

[62] López V., Ushiña W., (2017). Determinación del Módulo de Elasticidad d Mampostería de Bloque No Estructural Utilizada en la Vivienda Ecuatoriana. Tesis EPN. Quito.

Cálculos y resultados obtenidos para la mampostería de ladrillo

A continuación, se presentan los valores, resultados parciales y resultado final para este tipo de mampostería (ver tabla 4.8)

Tabla 4.8 Resultados de resistencia a corte de mamposterías de ladrillo

Murete	D(cm)	t(cm)	P(T)	fws (kg/cm²)
1	89	15,7	1,606	1,15
2	89,5	15,5	1,377	0,99
3	90	16,5	1,177	0,79
5	89	15,5	1,814	1,31
7	90	15,7	1,873	1,33
8	93	16	1,077	0,72
9	88,5	15,8	0,68	0,49
			Promedio	0,87
			Desv. Est.	0,35
			f'ws (kg/cm²)	0,52

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Se conoce que f´m = 5.91 kg/cm^2 para la mampostería de ladrillo, la determinación de este parámetro se encuentra detallado en el anexo 4.

Reemplazando la variable en la ecuación 4.5 se tiene:

$$V_{m\,lim} = \sqrt{5.91} = 2.43\ kg/cm^2$$

Este valor obtenido se compara con la resistencia corte (f'_{ws}):

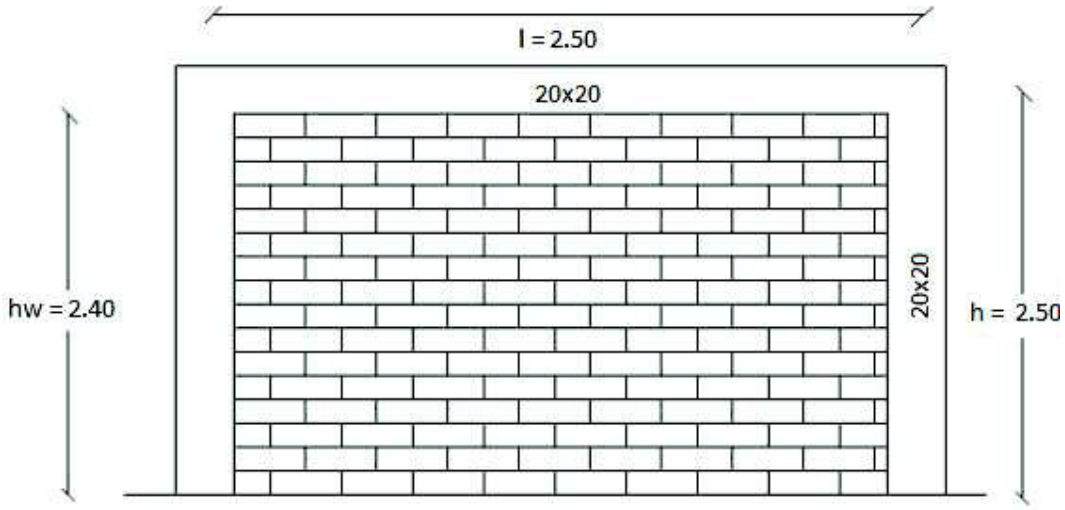
$$f'_{ws} < V_{m\,lim}$$
$$0.52\ kg/cm^2 < 2.43\ kg/cm^2$$

Se puede ver que la resistencia a corte para la mampostería de ladrillo es menor al límite establecido, por lo tanto, el resultado obtenido es válido.

4.4.1.4 Cálculos y resultados para la resistencia a compresión

Para determinar la resistencia a compresión para los dos tipos de mampostería se tomó como modelo el pórtico en estudio de la Tesis de Rivas L[63]., este está representado en la figura 4.25.

Figura 4.25 Ejemplo de pórtico



Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Para este pórtico se tiene la siguiente información:

- Resistencia a compresión del hormigón, f'c= 205 kg/cm^2 =20.09 MPa
- Módulo de elasticidad del agregado, Ea = 27.4 GPa.

[63] Rivas L., (2017). Análisis Experimental y Analítico de las Propiedades Estructurales Ante Cargas Laterales de una Mampostería Confinada y una Mampostería Reforzada. Tesis EPN. Quito.

El módulo de elasticidad del hormigón (Ec) se estimará con la fórmula presentada por NEC-SE-HM[64], esta expresión es la más acorde para los materiales de construcción del Ecuador.

$$Ec = 1.15 * \sqrt[3]{Ea} * \sqrt{f'_c} \quad (4.6)$$

Donde:

Ea= Módulo de elasticidad del agregado (GPa).
f´c= Resistencia a la compresión del hormigón (Mpa).

Se procede a reemplazar los valores de f´c y Ea en la fórmula 4.6 y se obtiene:

$$Ec = 1.15 * \sqrt[3]{27.4} * \sqrt{20.09} = 15.54\ GPa = 158534.96\ kg/cm^2$$

La longitud (d_w) y el ángulo con respecto a la horizontal (θ) del puntal equivalente (ver figura 2.6), para el pórtico en estudio es:

$$d_w = \sqrt{2.40^2 + 2.30^2} = 3.32\ m = 332\ cm$$

$$\theta = \arctan\frac{2.40}{2.30} = 46.21°$$

Debido a que las columnas tienen la misma sección, el momento de inercia promedio será:

$$I_c = \frac{20 * 20^3}{12} = 13333.33\ cm^4$$

Para determinar la resistencia a compresión para el fallo a tracción diagonal se hace uso de la fórmula 2.4, esta expresión es:

[64]Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). NORMA DE LA CONSTRUCCIÓN "ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO". Quito. NEC.

$$f_{m\theta} = \frac{0.6f_{ws} + 0.3\sigma_v}{\frac{b_w}{d_w}} \quad (2.4)$$

Se conoce que la mampostería el valor de σ_v es igual a cero, y para obtener b_w/d_w se ocupará la fórmula 2.2.

Resistencia a compresión en mampostería de bloque

Para este cálculo se requiere del módulo elástico de la mampostería de bloque, este se obtuvo de la Tesis López V., Ushiña W[65], en este proyecto se ensayaron a compresión axial 41 pilas de 3 bloques cada uno (unidos con mortero 1:7), para así obtener las curvas de esfuerzo vs deformación unitaria, se descartaron las curvas con tendencias distintas a la mayoría y mediante el método de la secante se determinó el valor promedio de Em= 3959.51 kg/cm².

A continuación, para el parámetro solicitado se requiere la estimación de la rigidez relativa, esta se determina con la fórmula 2.3, reemplazando los valores obtenidos anteriormente y características de la mampostería en estudio.

$$Ec = 158534.96\ kg/cm^2$$

$$\theta = 46.21°$$

$$I_c = 13333.33\ cm^4$$

$t_w = 15\ cm$ (espesor de la mampostería)

$h_w = 240\ cm$ (altura de la pared)

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{3959.51 * 15 * \sin(2 * 46.21)}{4 * 158534.96 * 13333.33 * 240}} = 0.013 * \frac{1}{cm}$$

Para conocer el valor de K_1 y K_2 se realiza el siguiente procedimiento:

---

[65] López V., Ushiña W., (2017). Determinación del Módulo de Elasticidad d Mampostería de Bloque No Estructural Utilizada en la Vivienda Ecuatoriana. Tesis EPN. Quito.

$$\lambda * h = 0.013 * 250 = 3.25$$

Basándose en este resultado, se conoce que $K_1 = 0.707$ y $K_2 = 0.01$, estos valores se obtienen de la tabla 2.1.

Se prosigue a reemplazar la ecuación 2.2 con lo conseguido anteriormente, y se tiene:

$$\frac{b_w}{d_w} = \frac{0.707}{3.25} + 0.01$$

$$\frac{b_w}{d_w} = 0.23$$

$$b_w = 0.23 * 332 = 76.36\ cm$$

Se sustituye la ecuación 2.4 y se tiene lo siguiente:

$$f_{m\theta} = \frac{(0.6 * 1.86) + 0}{0.23} = 4.85\ kg/cm^2$$

Donde f'ws fue determinado con anterioridad en la sección 4.4.1.4

Resistencia a compresión en mampostería de ladrillo

Se estima la rigidez relativa con la fórmula 2.3, reemplazando las variables se tiene:

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{731.14 * 16.20 * \sin(2 * 46.21)}{4 * 158534.96 * 13333.33 * 240}} = 0.009 * \frac{1}{cm}$$

El cálculo del módulo elástico de la mampostería de ladrillo se presenta en el anexo 3.

Para conocer el valor de K_1 y K_2 se realiza el siguiente procedimiento:

$$\lambda * h = 0.009 * 250 = 2.25$$

Según este resultado, se conoce que $K_1 = 1.3$ y $K_2 = -0.178$, estos valores se obtienen de la la tabla 2.1.

Se continúa reemplazando la ecuación 2.2 con lo conseguido anteriormente, y se tiene:

$$\frac{b_w}{d_w} = \frac{1.3}{2.25} - 0.178$$

$$\frac{b_w}{d_w} = 0.40$$

$$b_w = 0.40 * 332 = 132.8\ cm$$

Se sustituye la ecuación 2.4 y se tiene lo siguiente:

$$f_{m\theta} = \frac{(0.6 * 0.52) + 0}{0.40} = 0.78\ kg/cm^2$$

Donde f'ws fue determinado con anterioridad en la sección 4.4.1.4

4.4.2 MÉTODO ANALÍTICO

Para estimar la variable en estudio se hará uso del método impuesto por Crisafulli[66], este análisis recopila estudios de varios autores. Para representar el panel de mampostería se toma en cuenta el modelo de puntal tensor basado en estudios de Mann y Müller, donde se considera tres tipos de falla, los cuales son: falla por adherencia, falla por tracción diagonal y falla por compresión.

---

[66] Crisafulli F., (1997). Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills. PhD Thesis University of Canterbury. New Zealand.

La falla por tracción diagonal hace referencia al Critero de Rankine, quien considera que las unidades de albañilería van a fallar cuando la tensión principal de tracción sea similar a la resistencia de tracción del mampuesto.

Este modelo de análisis toma en cuenta propiedades mecánicas de la unidad de mampostería, y en base a la recopilación de varios estudios experimentales estima la variable que incorporan el modelo matemático para obtener la resistencia a compresión para este modo de falla.

$$f_{m\theta} = \frac{f'_{tb}}{\sin\theta * (2\cos\theta - 0.27\sin\theta)} \quad (4.6)$$

Donde:

$f_{m\theta}$= Resistencia a la compresión.
f'_{tb}= Resistencia a la tracción de la unidad de albañilería.
θ = ángulo de inclinación del puntal equivalente respecto a la horizontal

A continuación, se desarrolla el cálculo para cada tipo de mampostería.

4.4.2.1 Resistencia a compresión en mampostería bloque

La información que se necesita para este análisis es:

fm = 40.06 kg/cm²
θ = 46.21°

El valor de fm corresponde a la resistencia a compresión de la unidad, en este caso es el bloque, este valor se obtuvo de la Tesis López V., Ushiña W[67], ya que

[67]López V., Ushiña W., (2017). Determinación del Módulo de Elasticidad d Mampostería de Bloque No Estructural Utilizada en la Vivienda Ecuatoriana. Tesis EPN. Quito.

en este proyecto se trabajó con los mismos materiales con los que se desarrolló este proyecto.

Según estudios experimentales de Drysdale y Hamid, se conoce que la razón entre la resistencia a la tracción de la unidad y la resistencia a compresión está entre 0.08 y 0.16, para ese cálculo se hará uso de un valor intermedio igual a 0.12 estos valores se aplicaron en bloques con resistencias de 1.9 MPa a 2.6 MPa[68].

$$f'_{tb} = 0.12 * 40.06\ kg/cm^2$$
$$f'_{tb} = 4.8\ kg/cm^2$$

$$f_{m\theta} = \frac{4.8}{\sin 46.21° \, (2 \cos 46.21° - 0.27 \sin 46.21°)}$$

$$f_{m\theta} = 5.60\ kg/cm^2$$

4.4.2.2 Resistencia a compresión en mampostería de ladrillo

Los datos requeridos para este análisis son:

fm = 20.28 kg/cm²
θ = 46.21°

El valor de fm corresponde a la resistencia a compresión del ladrillo, este valor se obtuvo en la sección 4.1.3.

Tomando como base el resultado de los estudios experimentales mediante splitting test realizados por Francis A. J., Horman C. B. y Jerrems L. E., se conoce

[68]Cabezas F., (2011). Estimación Analítica de la Resistencia al Corte de Muros de Albañilería Confinada Mediante el Modelo Crisafulli. Tesis Universidad de Chile, Santiago de Chile.

que la resistencia a tracción del mampuesto equivale aproximadamente al 9% (en unidades sólidas) y 5%(en unidades huecas) de la resistencia a compresión de la unidad[69]. Para la determinación de la resistencia a tracción se tomará en cuenta este criterio debido a que los investigadores realizaron distintos ensayos de ladrillos tanto como macizos y huecos, mientras otros autores no diferencian sus resultados entre estos dos tipos de mampuestos.[70]

$$f'_{tb} = 0.09 * 20.28\ kg/cm^2$$

$$f'_{tb} = 1.83\ kg/cm^2$$

$$f_{m\theta} = \frac{1.83}{\sin 46.21° \, (2 \cos 46.21° - 0.27 \sin 46.21°)}$$

$$f_{m\theta} = 2.13\ kg/cm^2$$

[69] Cabezas F., (2011). Estimación Analítica de la Resistencia al Corte de Muros de Albañilería Confinada Mediante el Modelo Crisafulli. Tesis Universidad de Chile, Santiago de Chile.

[70] Crisafulli F., (1997). Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills. PhD Thesis University of Canterbury. New Zealand.

CAPITULO 5
ANALISIS Y COMPARACION DE RESULTADOS

5.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se van a confrontar los resultados obtenidos para mampuestos y mamposterías.

5.1.1 PROPIEDADES DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA

Tabla 5.1 Comparación de resultados de unidades

Propiedad	Bloque			Ladrillo
Resistencia a la compresión bruta	Neta	47.12 kg/cm²	>	20.28 kg/cm²
	Bruta	24.58 kg/cm²	>	
Absorción	14%		<	25%

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

5.1.2 PROPIEDADES DE LAS MAMPOSTERÍAS

Tabla 5.2 Comparación de resultados de mamposterías

Parámetro	Mampostería de bloque		Mampostería ladrillo
Resistencia a compresión (kg/cm²)	16,66	>	5,91
Resistencia a corte (kg/cm²)	1,86	>	0,52
Módulo de elasticidad (kg/cm²)	3959,51	>	731,14

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

5.1.3 VALORES EXPERIMENTALES Y VALORES ANALÍTICOS

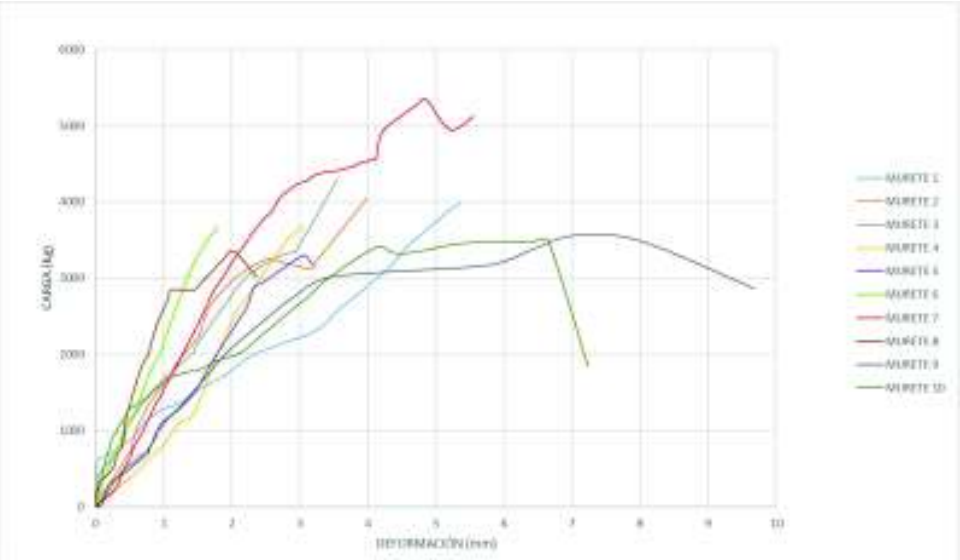
Tabla 5.3 Comparación de resultados de resistencia a compresión por tracción diagonal

	VALORES EXPERIMENTALES		VALORES ANALÍTICOS
	f_{me} (kg/cm²)		f_{me} (kg/cm²)
bloque	4.85	<	5.60
ladrillo	0.78	<	2.13

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

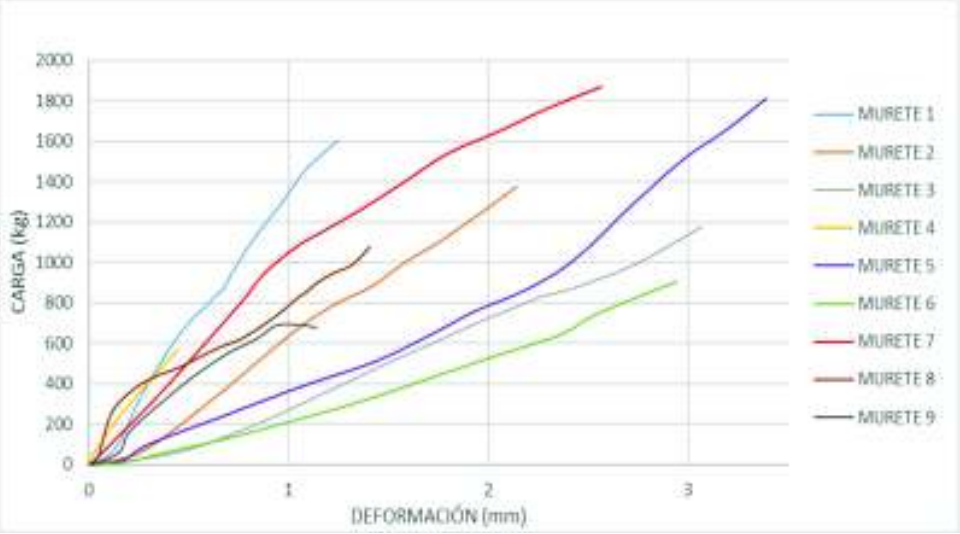
5.1.4 CURVAS OBTENIDAS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN DIAGONAL

Figura 5.1 Carga diagonal vs deformación para muretes de bloque



Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Figura 5.2 Carga diagonal vs deformación para muretes de ladrillo



Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Observando la figura 5.1, se nota que la mayoría de las gráficas correspondientes a los muretes de bloque que fallaron por adherencia y tracción diagonal son muy

similares, mientras que las gráficas de los muretes que fallaron por compresión en las esquinas presentan una curva en la zona del pico, esto se debe a que luego de roturarse el murete aún se mantenía en la máquina de ensayo y se lo seguía cargando, mientras que los otros especímenes se desacoplaban de la máquina y terminaban cayéndose.

De la figura 5.2 se determina que las curvas tienen la misma tendencia, esto se debe a que casi todos los muretes ensayados fallaron por adherencia.

5.2 ANALISIS DE TIPOS DE FALLA EN ESPECIMENES

Tabla 5.4 Tipos de fallas en muretes de bloque

Murete	Tipo de falla	Observación
1		No existe registro fotográfico
2	Adherencia	Ver fotografía 4.21
3	Compresión en las esquinas	Ver fotografía 4.22
4	Tracción diagonal	Ver fotografía 4.23
5	Compresión en las esquinas	Ver fotografía 4.24
6	Tracción diagonal	Ver fotografía 4.25
7	Tracción diagonal	Ver fotografía 4.26
8	Compresión en las esquinas	Ver fotografía 4.27
9	Compresión en las esquinas	Ver fotografía 4.28
10	Tracción diagonal	Ver fotografía 4.29

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

Tabla 5.5 Tipos de fallas en muretes de ladrillo

Murete	Tipo de falla	Observación
1	Adherencia	Ver fotografía 4.30
2	Adherencia	Ver fotografía 4.31
3	Tracción diagonal	Ver fotografía 4.32
4	Adherencia	Ver fotografía 4.33
5	Adherencia	Ver fotografía 4.34
6	Adherencia	Ver fotografía 4.35
7	Adherencia	Ver fotografía 4.36
8	Adherencia	Ver fotografía 4.37
9	Adherencia	Ver fotografía 4.38

Elaboración: Gualacata Gabriela, Ortega José

5.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TIPOS DE MAMPOSTERIA

- La adherencia entre el mortero empleado se presenta mucho mejor en las mamposterías de bloque, esto se debe a la compatibilidad de materiales, ya que los dos elementos se constituyen de los mismos componentes.

- De los materiales usados en este proyecto se determina que la resistencia a compresión de la unidad de bloque hueco de hormigón es mayor a la unidad de ladrillo macizo.

- Con relación a la absorción de agua se puede observar que el ladrillo absorbe mayor cantidad de agua (24.9% de absorción), por lo tanto para la elaboración de los muretes esta pieza necesita ser humedecido por mayor tiempo comparándolo con los bloques (14% de absorción).

- El mortero mejora la resistencia a corte en paredes de bloque mucho más que en las de ladrillo para una misma dosificación, esto es debido a la compatibilidad de materiales, lo cual se observó en el ensayo, ya que en los muretes de bloque la falla se dio por tracción diagonal y en los muretes de ladrillo la falla se dio por adherencia, este resultado se obtuvo a pesar de que al momento de la construcción de los muretes de ladrillo se saturo debidamente los mampuestos, ya que estos requieren ser humedecidos más que los bloques.

- Para este proyecto se determina que la resistencia a corte calculada es mayor para los paneles de bloque.

- El tiempo empleado para la fabricación de las mamposterías es menor para aquellas hechas con bloque, debido a que este elemento no debe ser humedecido por tanto tiempo comparándolo con el ladrillo, además es más fácil de acoplar y nivelar en el murete, ya que su geometría es más uniforme.

- Al momento de movilizar los especímenes a la máquina de ensayo se notó que el peso de las mamposterías de bloque con medidas de 80x80 cm es menor respecto a las de ladrillo con medidas de 65x65 cm, esto puede afectar en una edificación ya que aumentaría su carga muerta.

- Para los materiales de fabricación artesanal utilizados, se observó que las aristas de las mamposterías de bloque hueco de hormigón presentan menores irregularidades que las de ladrillo macizo, por lo tanto con el bloque se puede obtener una pared más regular.

- En la transportación de lotes de los elementos de tipo artesanal empleados en este proyecto el daño causado a unidades de mampostería es menor para el bloque.

CAPITULO 6
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Del capítulo 1 de este proyecto se concluye que la fragilidad de la mampostería es alta, a pesar de que ya existen estudios donde se demuestra que la respuesta del pórtico está ligada ampliamente con las mamposterías, a estos elementos aún no se les presta suficiente atención. Su mala distribución puede alterar la torsión de la edificación, y en el caso de falta de paredes se puede provocar un piso blando.

- El SeismoStruct integra la influencia de la mampostería en el pórtico mediante la resistencia de compresión del puntal equivalente, este último concepto se enfoca en un modelo no lineal donde se simula el comportamiento de la mampostería por un puntal que trabaje a compresión para resistir una carga lateral. Varios autores adoptan esta ideología debido a que este método representa de mejor manera los estados de falla que se pueden presentar en el elemento de albañilería, ya que en ensayos experimentales se evidencia la formación de un puntal provocado por una separación en las esquinas entre el pórtico y la pared en dirección diagonal, mientras las otras esquinas aún se mantienen adheridas al pórtico, este comportamiento está controlado por la baja integración entre los elementos.

- En el capítulo 3 se debe resaltar que la falla por tracción diagonal se encuentra ampliamente relacionada con la resistencia a corte del panel de albañilería, esto fue determinado por los estudios de San Bartolome[71], esto

[71] Crisafulli F., (1997). Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills. PhD Thesis University of Canterbury. New Zealand.

coincide con el método establecido por Bertoldi[72], esta ideología es con la que se desarrolla el SeismosStruct, ya que en su investigación la determinación de este valor consiste en la realización del ensayo a compresión diagonal, donde las condiciones con las que se realiza esta representación experimental son muy parecidas al análisis de este mecanismo de falla.

- Según los resultados de los ensayos previos realizados para el ladrillo macizo de fabricación artesanal utilizado en este proyecto se determina que no cumple con la resistencia a compresión mínima establecida por la norma INEN, es importante notar que este resultado es muy similar con el que se obtuvo en la Tesis Angulo, L. y López, C.[73], por lo tanto se puede notar que de dos fábricas distintas los materiales son muy similares.

- Comparando las características de las mamposterías de bloque y ladrillo entre sí, se determina que se obtendrá un mejor desempeño dentro de una pared construida con la unidad de hormigón, ya que resistirá mayor carga, además tomando en cuenta las fallas producidas en el ensayo a compresión diagonal se evidencia que el bloque tiene mejor adherencia con el mortero, mientras que todos los muretes de ladrillo presentaron mala adherencia con la pasta.

- Se puede ver que el método analítico presenta resultados mayores a los obtenidos de forma experimental, ya que en sus cálculos solo integra valores correspondientes a las de las unidades de mampostería y no toma en cuenta la influencia del mortero, además la determinación de las

---

[72] Bertoldi S.H., Decanini L.D., Gavarini C., (1993). Telai tamponati soggetti ad azione sismica, un modello semplificato: confronto sperimentale e numérico. Perugia, Italy.

[73] Angulo, L. y López, C., (2008). Reforzamiento de Mampostería de Ladrillo Artesanal. Tesis EPN. Quito.

propiedades de los mampuestos se basa en resultados experimentales presentado por otros autores, los cuales ensayaron especímenes con elementos y herramientas de su medio, por lo tanto este procedimiento analítico no presenta buena confiabilidad. El método experimental planteado por Bertoldi, es más seguro ya que según comparaciones prácticas se conoce que este análisis está ligado de mejor manera al mecanismo de falla por tracción diagonal, además en sus cálculos se incluye parámetros de la mampostería y del pórtico.

- El análisis para mamposterías de bloque es el que mejor se acopla a resultados obtenidos por otros autores, ya que el ancho del puntal equivalente es igual al 23% de la longitud de la diagonal, este porcentaje está dentro del rango del 10% al 25 %, valores definidos en base a varios estudios experimentales y analíticos. En el caso de las mamposterías de ladrillo se observa que su resultado no encaja al rango normal establecido, este se debe a que en los ensayos realizados por otros autores se usaron mampuestos de distintas características a las del ladrillo usado en este proyecto.

- Se sabe que por defecto el SeismoStruct, toma un valor de resistencia a compresión de 1 MPa, Para determinar el factor a ingresar en este sistema computacional se debe comparar la resistencia a compresión de los 4 tipos de falla, y tomar el de menor valor, por lo tanto, según los resultados obtenidos se observa que tanto para la mampostería de ladrillo (0.08 MPa) como de bloque (0.48 Mpa), estos dos valores son menores a 1MPa, por lo tanto si la resistencia a compresión relacionada a la falla por tracción diagonal fuera el que predomine en el comportamiento del panel de mampostería, el valor que se aplica por defecto sería erróneo, por lo tanto en la modelación de una edificación con este tipo de albañilería no se consideraría la influencia real de la mampostería en el análisis.

- En este proyecto se hizo un estudio sobre el ensayo de compresión diagonal, ya que en otros proyectos de investigación solo se lo realizaba para caracterizar un tipo de mampostería, pero sin mencionar su importancia y aplicación.

6.2 RECOMENDACIONES

- Al trabajar con unidades de mampostería se recomienda humedecer bien las piezas, en especial las de ladrillo, ya que al colocar la pasta de mortero esta empieza a perder contenido de agua rápidamente debido a que el ladrillo tiene una absorción alta, y la pasta empieza a perder su capacidad de trabajabilidad de manera inmediata.

- Se recomienda la realización del ensayo de compresión diagonal antes del diseño estructural, ya que a través de esta representación experimental, además de obtener la resistencia a corte se puede evaluar la adherencia entre el mortero y la unidad de mampostería, se considera una adherencia óptima cuando el tipo de falla presentado en los muretes es por tracción diagonal. Este ensayo también incorpora la evaluación de la calidad de mano de obra y materiales usados, considerando la dispersión entre los valores, dividiendo la desviación estándar entre la resistencia a corte promedio, si este valor excede del 30% se recomienda mejorar la mano de obra o utilizar otros materiales.

- Debido a la falta de estudios sobre el ladrillo se recomienda realizar más investigaciones sobre este mampuesto, en especial del comportamiento de un pórtico con un panel de relleno fabricado con esta unidad de mampostería, y así poder validar o rechazar el uso de los programas computacionales de predicción utilizados en este trabajo para poder modelar la influencia de este tipo de panel de relleno

BIBLIOGRAFÍA

- Angulo, L. y López, C., (2008). Reforzamiento de Mampostería de Ladrillo Artesanal. Tesis EPN. Quito.

- Bertoldi S.H., Decanini L.D., Gavarini C., (1993). Telai tamponati soggetti ad azione sismica, un modello semplificato: confronto sperimentale e numérico. Perugia, Italy.

- Blandon, C. A., (2005). Implementation of an Infill Masonry Model for Seismic Assessment of Existing Buildings, Individual Study, European School for Advanced Studies in Reduction of Seismic Risk (ROSE School). Pavia, Italy.

- Cabezas F., (2011). Estimación Analítica de la Resistencia al Corte de Muros de Albañilería Confinada Mediante el Modelo Crisafulli. Tesis Universidad de Chile, Santiago de Chile.

- Career Ride, (2016). Bricks or blocks – which are better for construction?. Recuperado el 27 de julio de 2017 de: http://www.careerride.com/view/bricks-or-blocks-which-are-better-for-construction-26826.aspx

- Carrillo C. E., (2008). Comparación de la Respuesta Sísmica Incorporando y Desacoplando la Mampostería y Técnicas de Reforzamiento. Tesis Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Quito.

- Crisafulli F., (1997). Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills. PhD Thesis University of Canterbury, New Zealand.

- Fiore, A., Mezzina, M., Porco, F., Uva, G. (2013). Solidarizzazione delle tamponature per il miglioramento sismico di edifici esistenti - M3. Recuperado el 30 de abril de 2017 de: http://www.ingenio-web.it/immagini/CKEditor/M3.pdf

- Gallegos H., Casabone C., (2005). Albañilería Estructural. Perú.

- Informática, (2011). Mampostería Simple. Recuperado el 27 de julio de 2017 de: http://construyefacil2011.blogspot.com/2011/06/mamposteria-simple.html

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977). NORMA INEN 293 "LADRILLOS CREÁMICOS. DEFINICIONES. CLASIFICACIÓN Y CONDICIONES GENERALES" NUMERAL 3. Quito. INEN.

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977). NORMA INEN 294 "LADRILLOS CERÁMICOS. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN". Quito. INEN.

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977). NORMA INEN 295 "LADRILLOS CERÁMICOS. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN". Quito. INEN.

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977). NORMA INEN 297 "LADRILLOS CERÁMICOS. REQUISITOS". Quito. INEN.

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). NORMA INEN 2 518 "MORTEROS PARA UNIDADES DE MAMPOSTERÍA. REQUISITOS". Quito. INEN.

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2015). NORMA INEN 296 "LADRILLOS CERÁMICOS. DETERMINACIÓN DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD". Quito. INEN.

- Jaramillo J., (2004). Análisis Clásico de Estructuras. Bogotá.

- López V., Ushiña W., (2017). Determinación del Módulo de Elasticidad d Mampostería de Bloque No Estructural Utilizada en la Vivienda Ecuatoriana. Tesis EPN. Quito.

- Mason Contractors Association of America, (2017). History of Masonry. Recuperado el 27 de julio de 2017 de: https://www.masoncontractors.org/history/

- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). NORMA DE LA CONSTRUCCIÓN "MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL". Quito. NEC.

- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). NORMA DE LA CONSTRUCCIÓN "ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO". Quito. NEC.

- Rivas L., (2017). Análisis Experimental y Analítico de las Propiedades Estructurales Ante Cargas Laterales de una Mampostería Confinada y una Mampostería Reforzada. Tesis EPN. Quito.

- San Bartolomé A. (2008). Comentarios a la Norma Técnica de Edificación E.070 "Albañilería". Capítulo 5. Lima, SENCICO.

- Sánchez D., (2001). Tecnología del Mortero y del Concreto. Colombia

- SeismoSoft, (2014). Manual de Usuario de SeismoStruct V. 7. Italia.

- Seismosoft, (2014). SeismoStruct v7.0 – A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures. Recuperado el 30 de julio: http://www.seismosoft.com

- SeismoSoft, (2017). SeismoStruct. Recuperado el 28 de julio de 2017: http://www.seismosoft.com/seismostruct

- Servicio Ecuatoriano de Normalización, (2016). NORMA INEN 3066 "BLOQUE DE HORMIGÓN. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO" NUMERAL 5.1. Quito. INEN.

- Stafford Smith B., Carter C., (1969). A method of analysis for infilled frames. Proceedings of the Institution of the Civil Engineers. Reino Unido.

- Tensoblock, (2017). Bloques de hormigón. Recuperado el 30 de julio de 2017 de: http://tensolite.com.ar/Sis/Contenidos/12.pdf

- Vision Reporter, (2013). Traditionally, it has been a custom to build residential houses using bricks or blocks. Recuperado el 27 de julio de 2017 de: http://www.newvision.co.ug/new_vision/news/1314073/bricks-vs-blocks

ANEXOS

ANEXO 1: DATOS ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES DE BLOQUE

MURETE 1		MURETE 2		MURETE 3		MURETE 4		MURETE 5	
P(kg)	Def. (mm)	P(kg)	Def. (mm)	P(kg)	Def. (mm)	P(kg)	Def. (mm)	P(kg)	Def. (mm)
260,436	0,061	31,352	0,005	265,322	0,017	28,947	0,007	0,000	0,005
255,613	0,067	28,941	0,005	260,498	0,019	28,947	0,010	0,000	0,009
245,967	0,071	28,941	0,006	255,674	0,019	28,947	0,010	-2,413	0,009
243,555	0,080	28,941	0,005	255,674	0,021	28,947	0,012	-2,413	0,011
417,179	0,058	28,941	0,006	250,850	0,022	31,359	0,014	-2,413	-0,006
610,094	-0,026	36,176	0,002	294,267	0,015	108,551	-0,083	2,413	-0,116
658,323	-0,106	48,235	-0,006	335,271	-0,001	267,760	-0,323	0,000	-0,242
696,906	-0,187	53,059	-0,018	371,451	-0,016	369,075	-0,492	0,000	-0,372
725,843	-0,259	65,118	-0,020	405,220	-0,032	434,206	-0,572	4,825	-0,528
764,426	-0,323	115,766	-0,046	431,752	-0,046	487,275	-0,643	4,825	-0,479
803,009	-0,385	217,061	-0,137	455,872	-0,068	516,222	-0,689	16,889	-0,306
858,473	-0,472	335,239	-0,230	479,992	-0,087	554,818	-0,704	26,539	-0,176
921,170	-0,557	455,828	-0,314	499,288	-0,102	600,651	-0,749	48,253	-0,153
1058,622	-0,671	571,594	-0,397	520,997	-0,119	648,896	-0,798	48,253	-0,144
1186,428	-0,824	697,007	-0,481	537,881	-0,133	680,256	-0,842	48,253	-0,137
1285,297	-0,996	723,537	-0,511	559,589	-0,155	716,440	-0,883	48,253	-0,133
1379,344	-1,257	764,537	-0,529	574,061	-0,173	750,211	-0,921	45,841	-0,129
1524,030	-1,477	807,949	-0,537	612,639	-0,205	774,334	-0,952	48,253	-0,124
1731,414	-1,904	846,538	-0,545	653,642	-0,233	791,219	-0,975	48,253	-0,118
1972,558	-2,263	873,068	-0,557	689,821	-0,264	820,166	-1,002	45,841	-0,112
2134,124	-2,707	916,480	-0,571	730,825	-0,298	849,113	-1,030	0,000	0,321
2322,217	-3,250	957,480	-0,584	764,592	-0,330	878,061	-1,059	0,000	7,181
2577,829	-3,555	993,657	-0,599	808,008	-0,365	926,306	-1,081	0,000	7,183
2794,859	-3,856	1037,069	-0,609	861,071	-0,404	1020,383	-1,157	-4,825	0,012
3019,123	-4,159	1080,481	-0,628	882,779	-0,434	1119,286	-1,238	-7,238	0,015
3207,215	-4,387	1126,305	-0,658	817,656	-0,431	1184,417	-1,406	-9,651	0,018
3421,833	-4,582	1179,365	-0,689	824,891	-0,409	1329,152	-1,495	-4,825	0,019
3597,868	-4,810	1239,659	-0,725	870,719	-0,414	1529,369	-1,589	12,063	-0,046
3749,789	-5,013	1331,307	-0,771	955,138	-0,430	1746,472	-1,675	31,365	-0,091
3880,007	-5,183	1377,131	-0,807	1025,084	-0,445	2006,995	-1,791	69,967	-0,104
3990,933	-5,368	1427,779	-0,849	1080,560	-0,485	2284,405	-1,922	173,712	-0,135
-16,880	-11,163	1483,250	-0,891	1145,682	-0,531	2585,937	-2,081	306,408	-0,211
-16,880	-11,243	1536,309	-0,938	1225,277	-0,583	2805,451	-2,268	407,740	-0,367
-16,880	-11,239	1577,310	-0,975	1287,988	-0,634	3029,791	-2,437	525,960	-0,531
-14,469	-11,236	1615,898	-1,007	1382,055	-0,701	3198,649	-2,564	607,991	-0,641
		1681,017	-1,042	1452,002	-0,781	3321,754	-2,661	673,133	-0,720

MURETE 1		MURETE 2		MURETE 3		MURETE 4		MURETE 5	
P(kg)	Def. (mm)	P(kg)	Def. (mm)	P(kg)	Def. (mm)	P(kg)	Def. (mm)	P(kg)	Def. (mm)
		1929,431	-1,227	1567,776	-0,873	3413,422	-2,733	726,211	-0,760
		2037,962	-1,327	1710,082	-1,036	3478,554	-2,791	764,814	-0,782
		2098,256	-1,393	1813,796	-1,156	3521,976	-2,834	791,353	-0,798
		2136,845	-1,434	1883,743	-1,251	3558,161	-2,872	829,956	-0,825
		2185,081	-1,470	1934,395	-1,315	3587,109	-2,902	883,034	-0,853
		2209,198	-1,498	1968,162	-1,350	3601,583	-2,927	981,953	-0,898
		2230,905	-1,522	1989,870	-1,384	3611,232	-2,947	1051,920	-0,972
		2614,379	-1,669	2004,341	-1,412	3625,706	-2,965	1153,252	-1,055
		2956,853	-2,000	2018,813	-1,436	3635,355	-2,981	1266,647	-1,204
		3077,442	-2,166	2115,292	-1,469	3642,592	-2,996	1399,344	-1,355
		3140,149	-2,267	2966,715	-2,158	3654,653	-3,010	1551,341	-1,498
		3176,326	-2,342	3150,024	-2,411	3669,127	-3,025	1715,402	-1,592
		3200,444	-2,402	3222,383	-2,542	3688,426	-3,039	1947,018	-1,746
		3222,150	-2,451	3258,562	-2,624	-7,237	-9,413	2142,444	-1,882
		3239,032	-2,493	3277,858	-2,665	-12,062	-9,937	2304,092	-1,999
		3248,679	-2,525	3294,742	-2,708	-9,649	-9,968	2465,740	-2,113
		3251,091	-2,557	3309,214	-2,743	-14,474	-9,975	2612,912	-2,225
		3120,854	-3,158	3311,625	-2,772	-14,474	-9,977	2748,021	-2,210
		3217,326	-3,233	3323,685	-2,797	-12,062	-9,976	2863,829	-2,323
		3246,268	-3,267	3326,097	-2,826			2936,209	-2,447
		4039,746	-3,985	3328,510	-2,846			3006,177	-2,568
		1415,720	-6,917	3340,569	-2,860			3083,382	-2,683
		1319,248	-6,967	3340,569	-2,877			3146,111	-2,792
		1285,483	-6,978	3342,981	-2,891			3211,252	-2,892
		1266,189	-6,982	3342,981	-2,908			3266,744	-2,986
		1246,895	-6,985	3350,217	-2,921			3293,283	-3,084
		1232,424	-6,986	3347,805	-2,935			3172,650	-3,191
		1227,600	-6,987	4302,943	-3,549			827,543	-4,263
		1222,777	-6,988	344,911	-29,128			569,388	-4,995
		1210,718	-6,988	60,299	-105,329			258,155	-6,114
		1208,306	-6,989	57,887	-105,329			238,854	-6,755
		1201,042	-6,993	50,651	-105,329			16,889	-10,139
		1203,453	-6,993	53,063	-105,329			16,889	-10,192
		1191,395	-6,993	53,063	-105,327			14,476	-10,202
				50,651	-105,326			16,889	-10,206
				45,827	-105,324				
				45,827	-105,320				
				48,239	-105,318				
				45,827	-105,307				
				45,827	-105,308				
				45,827	-105,308				

MURETE 6		MURETE 7		MURETE 8		MURETE 9		MURETE 10	
P(kg)	Def. (mm)	P(kg)	Def. (mm)	P(kg)	Def. (mm)	P(kg)	Def. (mm)	P(kg)	Def. (mm)
-7,240	0,009	-7,243	0,004	0,000	0,009	-125,652	-2,187	0,000	-0,003
-7,240	0,008	-14,485	0,006	-4,830	0,009	-4,833	0,002	7,255	-0,002
-7,240	0,011	-16,899	0,007	-2,415	0,009	-7,249	0,002	9,673	-0,002
-7,240	0,011	-19,313	0,007	0,000	0,008	-4,833	0,003	7,255	-0,002
74,812	-0,004	12,071	-0,008	0,000	0,008	-9,666	0,002	9,673	-0,002
284,770	-0,040	86,910	-0,036	79,695	0,001	-2,416	0,001	26,600	-0,005
410,261	-0,068	168,992	-0,093	164,219	-0,010	4,833	-0,008	55,619	-0,011
518,860	-0,081	241,418	-0,165	212,519	-0,019	7,249	-0,011	89,474	-0,015
632,285	-0,130	330,742	-0,239	253,574	-0,033	12,082	-0,016	116,074	-0,021
687,791	-0,162	407,996	-0,322	299,459	-0,032	21,748	-0,024	171,692	-0,029
552,646	-0,145	485,249	-0,407	338,099	-0,048	26,580	-0,035	258,748	-0,054
557,473	-0,138	555,260	-0,482	350,174	-0,082	33,829	-0,049	367,567	-0,081
550,233	-0,133	584,231	-0,492	359,834	-0,091	48,328	-0,059	471,550	-0,108
545,406	-0,135	610,787	-0,493	367,079	-0,101	84,574	-0,082	563,442	-0,136
545,406	-0,132	656,656	-0,491	391,229	-0,127	118,403	-0,124	672,261	-0,169
540,580	-0,131	637,342	-0,478	422,624	-0,178	173,980	-0,165	768,952	-0,205
538,166	-0,131	630,100	-0,479	475,753	-0,224	234,390	-0,206	851,167	-0,229
-2,413	0,003	618,029	-0,479	536,128	-0,273	306,882	-0,254	911,619	-0,248
-4,826	0,002	610,787	-0,480	458,849	-0,259	381,790	-0,315	945,472	-0,275
-4,826	0,002	601,130	-0,484	569,938	-0,289	454,282	-0,381	967,235	-0,295
38,611	-0,011	598,716	-0,484	659,293	-0,306	524,357	-0,453	984,162	-0,308
164,097	-0,058	591,473	-0,485	729,328	-0,346	570,269	-0,531	993,834	-0,319
325,780	-0,115	405,582	-0,462	799,362	-0,395	628,262	-0,604	1049,450	-0,341
475,398	-0,169	-159,336	6,279	864,567	-0,436	683,839	-0,669	1083,303	-0,356
506,769	-0,189	-161,746	13,370	898,377	-0,458	727,334	-0,730	1097,812	-0,372
567,099	-0,205	-159,332	13,348	975,657	-0,486	717,669	-0,762	1119,574	-0,388
588,817	-0,233	-4,828	0,003	1026,372	-0,419	710,419	-0,782	1141,337	-0,405
622,602	-0,245	-7,242	0,001	1069,842	-0,427	722,501	-0,783	1160,682	-0,421
670,866	-0,279	-9,656	0,002	1161,611	-0,450	741,833	-0,785	1196,953	-0,439
888,052	-0,369	-9,656	0,002	1258,211	-0,473	758,747	-0,793	1284,004	-0,498
1054,562	-0,448	31,381	-0,018	1349,981	-0,506	775,662	-0,803	1334,784	-0,586
1223,485	-0,560	86,902	-0,107	1451,410	-0,536	790,160	-0,803	1385,564	-0,683
1363,450	-0,634	142,423	-0,191	1545,595	-0,570	809,492	-0,817	1482,287	-0,801
1578,224	-0,714	193,115	-0,252	1634,950	-0,603	823,990	-0,831	1593,519	-0,949
1824,368	-0,834	265,534	-0,310	1719,474	-0,629	845,737	-0,839	1699,915	-1,100
2012,597	-0,949	352,436	-0,355	1796,754	-0,658	857,819	-0,851	1760,367	-1,295
2249,089	-1,033	446,579	-0,400	1864,374	-0,685	869,901	-0,859	1808,729	-1,539
2461,449	-1,121	538,309	-0,439	1917,504	-0,718	881,983	-0,864	1890,944	-1,709
2637,612	-1,194	605,900	-0,482	1958,559	-0,745	894,065	-0,873	1951,396	-1,876
2808,948	-1,263	649,351	-0,509	1994,784	-0,775	901,314	-0,881	1997,340	-2,080
2963,392	-1,333	675,904	-0,518	2149,343	-0,818	910,980	-0,879	2081,973	-2,223
3117,836	-1,404	712,113	-0,534	2325,637	-0,876	927,805	-0,898	2169,024	-2,338
3250,561	-1,480	799,015	-0,569	2494,687	-0,947	1084,855	-0,954	2253,657	-2,435
3371,220	-1,555	893,159	-0,636	2625,096	-1,016	1270,900	-1,194	2323,782	-2,536
3484,640	-1,634	992,130	-0,697	2726,526	-1,069	1587,417	-1,514	2396,324	-2,634
3578,754	-1,714	1098,344	-0,750	2847,276	-1,120	2010,244	-1,917	2466,449	-2,722
3655,976	-1,798	1206,971	-0,809	2844,861	-1,437	2416,159	-2,441	2531,737	-2,809
-185,815	-7,207	1342,152	-0,878	2955,951	-1,562	2768,918	-2,939	2592,189	-2,896
-188,228	-7,332	1443,538	-0,950	3030,815	-1,646	3017,783	-3,486	2655,060	-2,978
-193,055	-7,346	1619,756	-1,048	3129,830	-1,752	3225,573	-4,071	2710,676	-3,059
-190,642	-7,352	1798,388	-1,161	3255,174	-1,884	3430,946	-4,589	2766,292	-3,139
-190,642	-7,351	1974,605	-1,263	3349,352	-2,037	2933,218	-5,214	2841,252	-3,217

MURETE 6		MURETE 7		MURETE 8		MURETE 9		MURETE 10	
P(kg)	Def. (mm)	P(kg)	Def. (mm)	P(kg)	Def. (mm)	P(kg)	Def. (mm)	P(kg)	Def. (mm)
		2148,409	-1,360	3013,692	-2,362	3167,585	-5,761	2921,049	-3,310
		2310,143	-1,455	1482,698	-3,083	3365,710	-6,397	2996,010	-3,409
		2471,878	-1,544	304,267	-4,413	3554,170	-7,018	3058,880	-3,515
		2631,198	-1,630	-205,259	-7,025	3488,934	-7,987	3133,841	-3,621
		2829,141	-1,729	-328,415	-8,342	2863,148	-9,672	3196,711	-3,731
		3010,187	-1,867	-313,926	-9,434	2817,242	-11,235	3262,000	-3,843
		3191,232	-1,993	-367,052	-10,604	2911,472	-12,719	3327,288	-3,957
		3340,897	-2,107	-359,808	-11,850	2916,304	-14,310	3382,904	-4,070
		3468,836	-2,212	-352,563	-16,845	2819,658	-16,268	3416,758	-4,201
		3594,361	-2,305	-396,030	-19,541	2575,626	-18,761	3336,961	-4,371
		3686,091	-2,391	-408,104	-19,511	304,436	-35,788	3327,288	-4,551
		3777,820	-2,466	-425,008	-21,861	166,715	-115,830	3351,469	-4,708
		3835,756	-2,543	-427,423	-22,016	132,889	-115,830	3373,232	-4,887
		3898,518	-2,608	-427,423	-22,017	125,640	-115,830	3421,594	-5,100
		4026,457	-2,685	-422,593	-22,012	120,808	-115,830	3455,447	-5,367
		4101,289	-2,761	-425,008	-22,009	118,392	-115,831	3474,792	-5,640
		4154,396	-2,835	-427,423	-22,006	113,559	-115,831	3484,464	-5,911
		4195,433	-2,903	-427,423	-22,003	115,976	-115,831	3479,627	-6,176
		4231,642	-2,966	-429,837	-22,000			3474,792	-6,422
		4253,367	-3,029	-434,667	-21,998			3482,046	-6,647
		4275,093	-3,089	-425,008	-21,995			1847,419	-7,234
		4301,646	-3,145	-425,008	-21,990			1361,383	-7,862
		4340,269	-3,200	-425,008	-21,988			-152,340	-12,418
		4364,409	-3,268	-429,837	-21,987			-137,801	-12,447
		4383,720	-3,345					-137,801	-12,450
		4400,618	-3,419					-140,219	-12,453
		4400,618	-3,497					-140,219	-12,455
		4415,102	-3,575					-140,219	-12,457
		4429,585	-3,647					-137,801	-12,458
		4446,483	-3,710					-137,801	-12,460
		4465,794	-3,769						
		4480,278	-3,821						
		4502,003	-3,871						
		4521,315	-3,916						
		4526,143	-3,956						
		4535,580	-3,997						
		4540,408	-4,030						
		4547,649	-4,060						
		4554,890	-4,088						
		4562,132	-4,116						
		4907,309	-4,205						
		5129,381	-4,494						
		5257,314	-4,698						
		5334,556	-4,857						
		4945,930	-5,200						
		5117,312	-5,543						
		-65,173	-10,841						
		-72,415	-10,693						
		-74,829	-10,744						
		-72,415	-10,778						
		-72,415	-10,795						

ANEXO 2: DATOS ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETE DE LADRILLO

LADRILLO 1		LADRILLO 2		LADRILLO 3		LADRILLO 4		LADRILLO 5	
P(kg)	Def.(mm)	P(kg)	Def.(mm)	P(kg)	Def.(mm)	P(kg)	Def.(mm)	P(kg)	Def.(mm)
-33,7691154	-0,00482895	-31,360815	-0,00965894	-38,5951347	-0,0012073	-28,9526367	-0,00483024	-28,9575253	-0,00785034
-31,3570347	-0,00543256	-31,360815	-0,01146999	-38,5951347	-0,0012073	-26,539917	-0,00422646	-31,3706551	-0,01026582
-28,9449558	-0,0066398	-31,360815	-0,01328105	-38,5951347	0	-28,9526367	-0,00724536	-28,9575253	-0,01147357
-31,3570347	-0,00603618	-31,360815	-0,04708735	-28,9463501	-0,04648097	-28,9526367	-0,00664158	-31,3706551	-0,01207744
-26,5328732	-0,00603618	-26,5360756	-0,0676126	57,8927002	-0,43100533	-28,9526367	-0,00422646	-21,7181454	-0,05253687
-31,3570347	-0,00724342	-16,8865948	-0,17567202	195,387863	-0,82579178	-28,9526367	-0,00422646	-14,4787626	-0,1014505
-26,5328732	-0,01388322	69,9587479	-0,27105409	357,005005	-1,18315196	-21,7144775	0,00483024	-12,0656366	-0,11292407
-12,0603981	-0,04164967	330,494751	-0,62602025	494,500214	-1,47652531	21,7144775	0,07184985	19,3050194	-0,1618377
79,5986252	-0,12977794	651,340027	-1,01539636	600,63678	-1,71919227	253,329468	-0,16422543	101,351349	-0,29710504
337,691132	-0,26076314	791,257568	-1,22427106	692,300232	-1,9232254	566,975525	-0,44437465	234,073349	-0,65157789
557,190369	-0,38993743	882,927673	-1,4132241	764,666138	-2,09887719	77,2051697	-0,98474884	388,513519	-1,06462634
694,678955	-0,49194893	1003,54608	-1,58406675	827,38324	-2,25341058	14,4759693	-1,45448184	509,169891	-1,42574191
776,689636	-0,5752483	1102,45337	-1,75068343	853,917419	-2,36146331	60,3165398	-1,74248004	644,304993	-1,70956171
829,755371	-0,62715948	1184,474	-1,87081647	882,863709	-2,45502853	69,967186	-2,05764794	757,721985	-1,92574787
873,172852	-0,67303443	1264,08228	-1,98491263	921,458801	-2,55945921	101,331787	-2,48934364	844,594543	-2,137707
933,474792	-0,70744073	1377,4635	-2,14126706	967,290527	-2,67898083	-50,6658936	-2,9421711	916,988403	-2,28142858
1022,7218	-0,76176631	-57,8968925	-5,18262672	1032,41992	-2,81661224	-53,0785599	-2,59621048	974,903442	-2,37502861
1145,73779	-0,84506565	-53,0721512	-5,16330862	1177,15173	-3,06954026	-48,253231	-2,50021124	1052,12354	-2,47285604
1285,63843	-0,95733875	-53,0695915	-5,15892076	-48,2439232	-6,81335259	-48,253231	-2,45070219	1141,40918	-2,56826758
1461,72021	-1,08530581	-50,6573372	-5,16435337	-50,6561165	-6,88277245			1221,04236	-2,6485827
1606,44507	-1,24828267			-50,6561165	-6,88820458			1298,26257	-2,72950149
-53,0657463	-5,36254454			-48,2439232	-6,88820458			1370,65637	-2,81283617
-53,0657463	-5,36314869							1455,11584	-2,90462446
-57,8899117	-5,36375284							1544,40149	-3,01694465
-57,8899117	-5,36194181							1616,79529	-3,12745333
								1694,0155	-3,23675418
								1814,67175	-3,39134526
								-53,0888023	-8,98742771
								-53,0888023	-9,02305603
								-55,5019302	-9,03815269
								-55,5019302	-9,0417757

LADRILLO 6		LADRILLO 7		LADRILLO 8		LADRILLO 9	
P(kg)	Def.(mm)	P(kg)	Def.(mm)	P(kg)	Def.(mm)	P(kg)	Def.(mm)
-26,5527325	-0,00785294	-26,5597839	-0,00483392	-4,83010101	-0,00664781	-19,3087463	-0,00543589
-26,5527325	-0,01147737	-28,975708	-0,0048339	-7,24515152	-0,00966954	-16,8943386	-0,00483189
-28,9666138	-0,01268551	-31,3903503	-0,00543813	-4,83010101	-0,01148258	-19,3078136	-0,00664384
-26,5527325	-0,0151018	-28,975708	-0,00604237	-7,24515152	-0,01087824	-21,7212906	-0,00664384
-28,9666138	-0,01812216	-28,975708	-0,00604237	-7,24515152	-0,01269128	-19,3078136	-0,00724783
-21,7249622	-0,02959952	-28,975708	-0,00725084	-7,24515152	-0,01208693	-19,3078136	-0,00785182
-7,24165344	-0,10027594	-28,975708	-0,00785508	-7,24515152	-0,01329562	-14,4808598	-0,00724783
7,24165344	-0,16611977	-31,3903503	-0,00725084	45,8859634	-0,04653467	-9,65390682	-0,01389168
62,7609978	-0,40110377	-31,3903503	-0,00725084	255,995361	-0,11240844	4,82695341	-0,03140726
125,521996	-0,68139309	-21,731781	-0,00725084	374,332825	-0,2236082	14,4808598	-0,05254677
214,835724	-1,01604903	26,5610657	-0,03142032	439,539154	-0,3396427	31,3751984	-0,09784571
308,977264	-1,35010064	354,952393	-0,357104	483,010101	-0,45446852	72,4043045	-0,16126421
415,188141	-1,66905069	678,514465	-0,64895046	540,971314	-0,56989873	164,116425	-0,20173125
545,537964	-2,05686474	818,563721	-0,77281898	586,8573	-0,66780281	316,165466	-0,37205526
644,507202	-2,36071324	953,783691	-0,88158166	618,25293	-0,75180697	441,66626	-0,52969557
499,674133	-2,40058184	1079,34509	-1,03566206	668,968994	-0,83883292	552,686218	-0,69820756
453,810303	-2,17224264	1159,02832	-1,17403233	717,27002	-0,90954143	622,677002	-0,8395403
601,057312	-2,29124475	1231,46765	-1,30273485	770,401123	-0,98025	692,667847	-0,95248562
736,234802	-2,52018786	1315,97998	-1,44352198	821,117188	-1,03766286	680,600403	-1,13911736
830,376282	-2,74369478	1410,15125	-1,58914304	854,927918	-1,0884279	292,030701	-1,76665855
907,620606	-2,94183016	1542,95642	-1,79518783	903,228943	-1,14644527	304,098084	-2,08375096
156,902512	-3,63711715	1651,61548	-2,04775882	949,114868	-1,22621906	294,444183	-2,40809131
171,385803	-4,22185898	1767,51819	-2,29730868	990,170715	-1,31868398	292,030701	-2,72156024
111,038696	-4,81384945	1873,76257	-2,56317306	1077,11267	-1,40752292	258,242035	-3,05616832
-50,6915779	-6,67801523	-50,7074852	-5,56502151	-53,1311112	-4,57369423	222,039871	-3,39621234
-53,1054649	-7,32920504	-53,1221313	-5,49372244	-53,1311112	-4,71994591	226,866806	-3,71813655
-53,1054649	-7,3255806	-53,1221313	-5,4955349	-55,5461617	-4,72115469	229,280304	-5,65330696
-53,1054649	-7,32316399	-53,1221313	-5,4955349	-55,5461617	-4,72236347	53,0964928	-8,81758976
-55,5193481	-7,31953955	-50,7074852	-5,49432611			-50,6830101	-7,21581888
						-53,0964928	-7,22004652
						-53,0964928	-7,21642256
						-50,6830101	-7,21340275
						-53,0964928	-7,21098709

ANEXO 3: CALCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO

Fotografía: Ensayo a compresión

Para el ensayo a compresión se elaboró 5 pilas con 4 ladrillos, con mortero 1:7, se tomó las dimensiones de cada murete, las cuales son:

Muestra	l_1 (cm)	l_2 (cm)	l_3 (cm)	$l_{promedio}$ (cm)	a_1 (cm)	a_2 (cm)	a_3 (cm)	$a_{promedio}$ (cm)	h_1 (cm)	h_2 (cm)	h_3 (cm)	$h_{promedio}$ (cm)
1	32.40	32.10	32.90	32.47	15.90	16.00	16.60	16.17	44.10	44.10	44.50	44.23
2	32.85	32.60	32.30	32.58	16.30	16.70	16.00	16.33	46.60	46.20	45.90	46.23
3	32.50	32.60	32.80	32.63	16.90	15.70	16.10	16.23	43.00	43.10	43.10	43.07
4	32.50	32.50	32.50	32.50	16.30	16.40	16.50	16.40	43.00	43.50	43.50	43.33
5	33.00	32.60	32.00	32.53	16.00	16.20	16.30	16.17	43.20	43.50	43.20	43.30

Según las dimensiones de cada pila se debe obtener el factor de esbeltez que afectará directamente a la resistencia a compresión de cada murete (f´m), estos factores a aplicarse son:

TABLA 10
FACTORES DE CORRECCIÓN DE f'_m POR ESBELTEZ

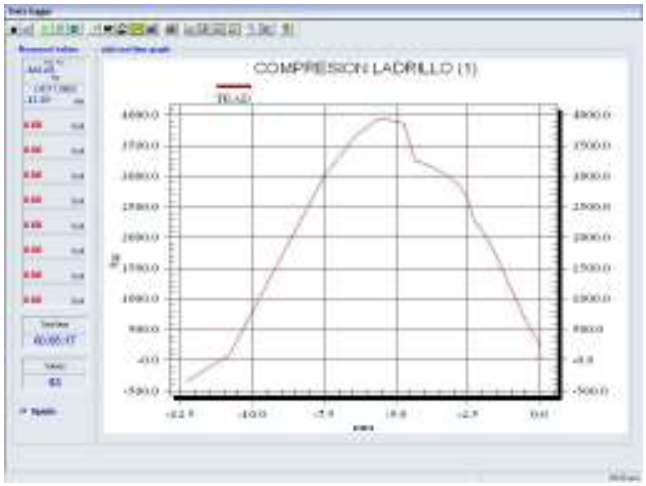
Esbeltez	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5,0
Factor	0,73	0,80	0,91	0,95	0,98	1,00

El factor de esbeltez para cada pila es:

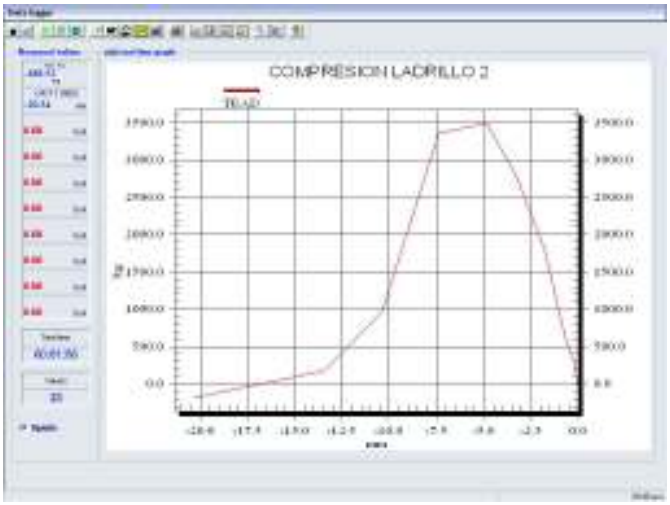
Muestra	$l_{promedio}$ (cm)	$a_{promedio}$ (cm)	$h_{promedio}$ (cm)	Área (cm^2)	Esbeltez h/a	Factor de esbeltez
1	32.47	16.17	44.23	524.88	2.74	0.85
2	32.58	16.33	46.23	532.19	2.83	0.87
3	32.63	16.23	43.07	529.75	2.65	0.83
4	32.50	16.40	43.33	533.00	2.64	0.83
5	32.53	16.17	43.30	525.96	2.68	0.84

Los datos obtenidos en el ensayo a compresión fueron los siguientes:

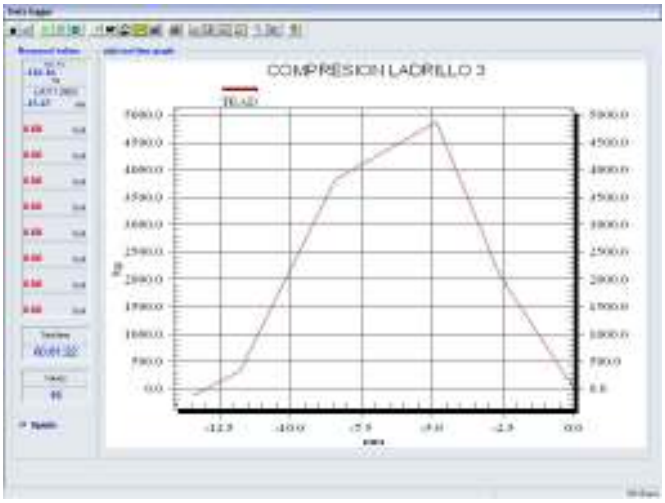
PILA DE LADRILLOS 1		
t (s)	Carga (kg)	deformación (mm)
60.00000285	357.842285	-0.101345144
65.00000309	418.288635	-0.21176596
70.00000332	490.82428	-0.288909256
75.00000356	560.942017	-0.373615682
80.0000038	628.641846	-0.455296814
85.00000404	698.759644	-0.544541061
90.00000427	800.309509	-0.636810541
95.00000451	913.948547	-0.741180897
100.0000047	1022.75195	-0.844038606
105.000005	1109.79468	-0.948408902
110.0000052	1179.91248	-1.052779317
115.0000055	1329.81921	-1.160174966
120.0000057	1486.97974	-1.306898475
125.0000059	1627.21533	-1.441521168
130.0000062	1740.85437	-1.556479812
135.0000064	1839.98657	-1.662362814
140.0000066	1914.93982	-1.760682702
145.0000069	2016.48962	-1.866565704
150.0000071	2084.1897	-1.963373065
155.0000074	2142.21802	-2.042028904
160.0000076	2205.08252	-2.119172335
165.0000078	2238.93237	-2.191777706
170.0000081	2284.87158	-2.261357784
175.0000083	2306.63208	-2.317324638
180.0000085	2647.54932	-2.524552822
185.0000088	2848.2312	-2.790772915
190.000009	2944.94531	-3.011614323
195.0000093	3005.3916	-3.206741571
200.0000095	3060.63257	-3.412011147
205.0000097	3096.896	-3.55115366
210.00001	3125.90625	-3.658535004
215.0000102	3152.49951	-3.749280214
220.0000104	3171.84009	-3.824901104
225.0000107	3181.5105	-3.889935017
230.0000109	3196.01563	-3.951943874
235.0000112	3208.10352	-4.006391048
240.0000114	3215.3562	-4.053276062
245.0000116	3215.3562	-4.097136021
250.0000119	3227.44409	-4.145533085
255.0000121	3225.02637	-4.196955204
260.0000123	3237.11426	-4.243840218
265.0000126	3246.78467	-4.283163071
270.0000128	3256.45483	-4.323998451
275.0000131	3261.28979	-4.360296726
280.0000133	3870.51538	-4.755037308
285.0000135	3947.87744	-5.59594059
290.0000138	3660.1875	-6.414157391
295.000014	2985.68799	-7.531833172
300.0000142	91.8673172	-10.80319023
305.0000145	-338.458527	-12.26267242
310.0000147	-362.634186	-12.28989601
CARGA MÁXIMA =	3947.87744	



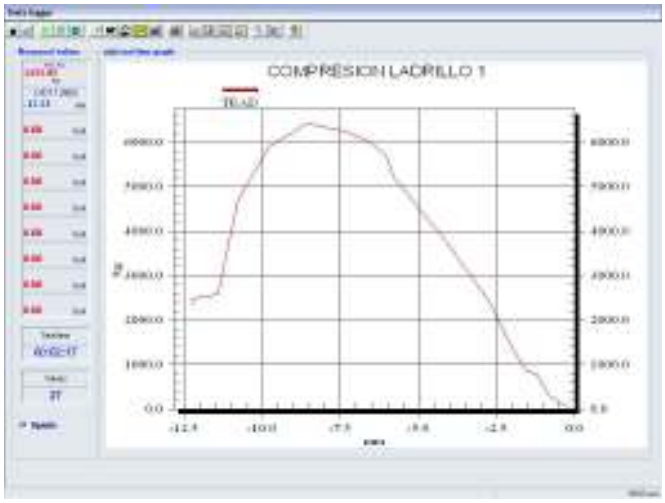
PILA DE LADRILLOS 2		
t (s)	Carga (kg)	deformación (mm)
25.00000119	99.0936508	-0.075601421
30.00000142	161.933517	-0.113402136
35.00000166	174.018127	-0.114914164
40.0000019	215.105743	-0.12701039
45.00000214	224.773392	-0.12701039
50.00000237	236.858017	-0.130034462
55.00000261	290.030212	-0.196563706
60.00000285	609.063416	-0.690997064
65.00000309	1788.51953	-1.761513114
70.00000332	2745.61914	-3.207012415
75.00000356	3485.19604	-4.838490963
80.0000038	3366.76733	-7.380210876
85.00000404	966.767395	-10.40124416
90.00000427	174.018127	-13.40715694
95.00000451	-159.516617	-19.67905235
100.0000047	-181.26889	-20.18709183
105.000005	-186.102707	-20.28839684
110.0000052	-188.519623	-20.33829308
CARGA MÁXIMA =	3485.19604	



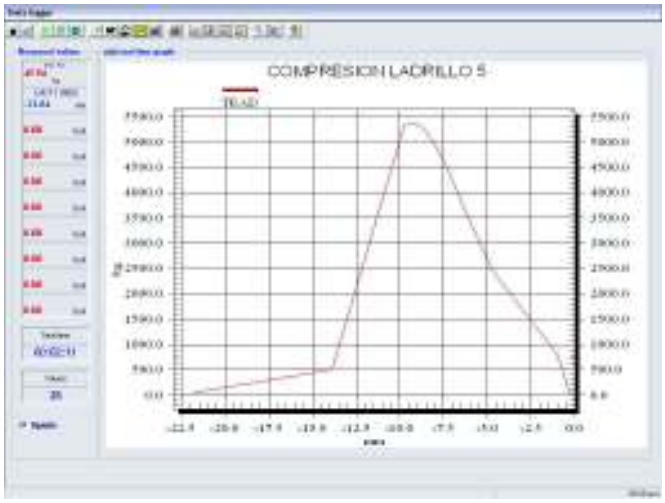
PILA DE LADRILLOS 3		
t (s)	Carga (kg)	deformación (mm)
10.0000005	7.26005507	-0.024223691
15.0000007	82.2806168	-0.087810881
20.0000009	99.2207565	-0.08326894
25.0000012	116.160881	-0.092352822
30.0000014	128.260971	-0.09386681
35.0000017	152.461166	-0.130202338
40.0000019	179.08136	-0.248292848
45.0000021	546.924133	-0.682805359
50.0000024	2086.05566	-2.62675643
55.0000026	4871.49707	-4.853822231
60.0000028	3818.78882	-8.413190842
65.0000031	321.862427	-11.80602074
CARGA MÁXIMA =	4871.49707	



PILA DE LADRILLOS 4		
t (s)	Carga (kg)	deformación (mm)
0	41.1692009	-0.195439383
4.98400024	41.1692009	-0.19846946
9.98400047	41.1682091	-0.199977681
14.9840007	41.1682091	-0.198462695
19.9840009	38.7465477	-0.201492667
24.9840012	41.1682091	-0.199977681
29.9840014	53.2765007	-0.263606966
34.9840017	302.707397	-0.809000671
39.9840019	782.195984	-1.208956122
44.9840021	808.834229	-1.374089122
49.9840024	864.532349	-1.531647444
54.9840026	1099.43335	-1.774044633
59.9840028	1610.40332	-2.183089972
64.9840031	2385.33447	-2.69212389
69.9840033	3039.18237	-3.381440878
74.9840036	3823.79956	-4.187411785
79.9840038	4555.14111	-5.017622471
84.984004	5240.4707	-5.822077751
89.9840043	5686.05615	-6.008420467
94.9840045	6025.08789	-6.56744957
99.9840047	6245.45947	-7.370390415
104.984005	6422.24023	-8.570256233
109.984005	5899.16162	-9.797391891
114.984005	4700.44092	-10.79122162
CARGA MÁXIMA =	6422.24023	



PILA DE LADRILLOS 5		
t (s)	Carga (kg)	deformación (mm)
10.0000005	0	-0.001513237
15.0000007	2.41878915	-0.051450044
20.0000009	48.375782	-0.313239962
25.0000012	401.518982	-0.612860799
30.0000014	585.346985	-0.797475636
35.0000017	631.303955	-0.826227129
40.0000019	645.816711	-0.827740312
45.0000021	660.329407	-0.8216874
50.0000024	703.867615	-0.897349298
55.0000026	853.83252	-1.092556834
60.0000028	1434.34204	-2.436311007
65.0000031	2464.74609	-4.70011282
70.0000033	3514.50049	-6.093803406
75.0000036	4385.26465	-7.159122467
80.0000038	4830.32178	-7.808300495
85.000004	5108.48242	-8.274377823
90.0000043	5260.8667	-8.660252571
95.0000045	5340.68652	-8.940201759
100.000005	5374.54932	-9.170213699
105.000005	5364.87402	-9.404765129
110.000005	5326.17334	-9.745244026
115.000005	505.526917	-13.89453793
120.000006	48.375782	-21.83903122
125.000006	45.9569931	-21.8435688
CARGA MÁXIMA =	5374.54932	



Se procedió a realizar las gráficas esfuerzo versus deformación unitaria, para obtener el módulo de la elasticidad se determinó la pendiente de la secante desde 0.05 f´m hasta 0.33 f´m. es importante recordar que f´m corresponde al mayor esfuerzo multiplicado por el factor de esbeltez correspondiente.

Pila de ladrillos 1

L (alto pila) = 44.23 cm

A (área)= 524.88 cm²

Esfuerzo (kg/cm²)	Deformación unitaria
0	0
0.6817602	0.000229132
0.7969224	0.000478784
0.9351171	0.000653198
1.0687053	0.000844711
1.1976868	0.001029385
1.331275	0.001231158
1.5247476	0.001439771
1.7412524	0.001675742
1.9485443	0.001908294
2.1143779	0.002144266
2.2479662	0.002380238
2.5335681	0.00262305
2.8329899	0.002954778
3.1001664	0.003259148
3.3166712	0.003519059
3.5055376	0.003758451
3.6483383	0.003980743
3.8418107	0.004220135
3.9707927	0.004439008
4.0813482	0.004616841
4.2011174	0.004791256
4.2656081	0.00495541
4.3531313	0.005112724
4.3945894	0.00523926
5.044104	0.005707784
5.4264426	0.006309683
5.6107021	0.006808986
5.7258642	0.007250151
5.8311091	0.007714246
5.9001981	0.008028835
5.9554684	0.008271614
6.0061338	0.008476781
6.0429814	0.008647753
6.0614055	0.008794789
6.0890406	0.008934985
6.1120704	0.009058085
6.1258882	0.009164088
6.1258882	0.009263251
6.148918	0.009372673
6.1443118	0.009488933
6.1673416	0.009594936
6.1857656	0.009683841
6.2041892	0.009776167
6.2134008	0.009858234
7.3740958	0.010750706
7.5214858	0.012651912
6.9733796	0.014501825
5.6883249	0.017028789

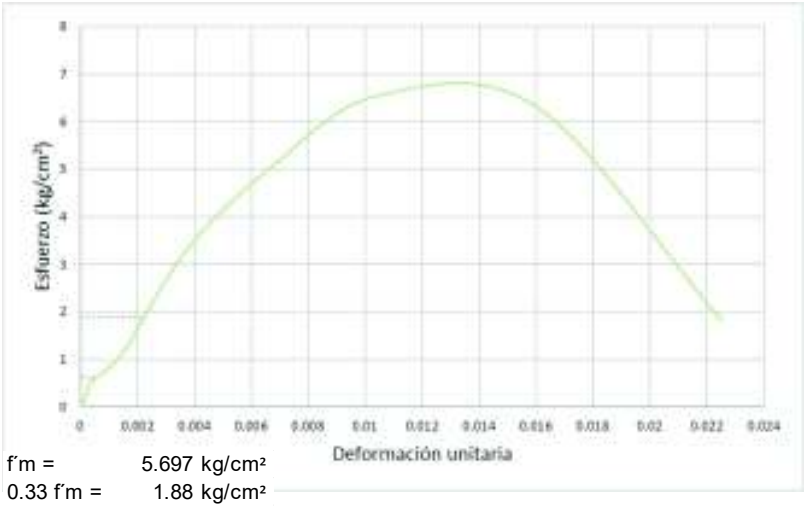
f´m =	6.39	kg/cm²
0.33 f´m =	2.11	kg/cm²
0.05f´m =	0.7	kg/cm²
E=	909.3	kg/cm²

Pila de ladrillos 2

L (alto pila) = 46.23 cm

A (área)= 523.19 cm²

Esfuerzo (kg/cm²)	Deformación unitaria
0	0
0.1861998	0.000163533
0.3042776	0.0002453
0.326985	0.000248571
0.4041898	0.000274736
0.4223555	0.000274736
0.4450629	0.000281277
0.5449749	0.000425186
1.1444473	0.001494694
3.3606786	0.003810325
5.1590957	0.006937081
6.5487815	0.010466128
6.3262507	0.015964116
1.8165832	0.022498906



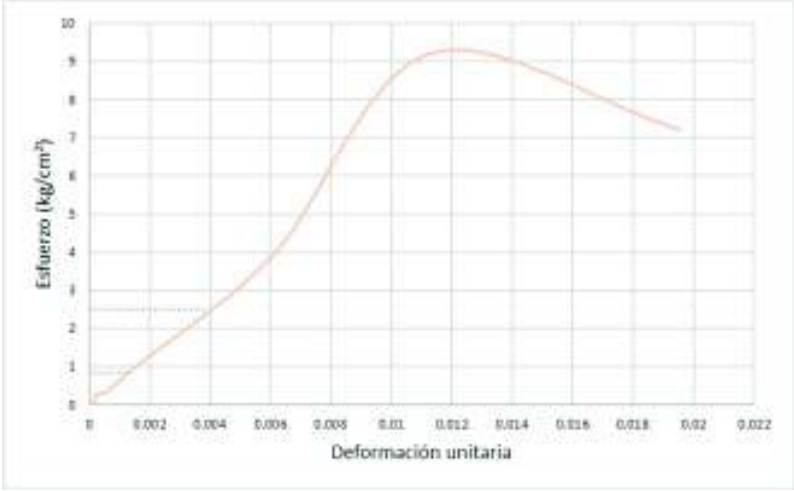
f´m = 5.697 kg/cm²
0.33 f´m = 1.88 kg/cm²
0.05f´m = 0.62 kg/cm²
E= 868.97 kg/cm²

Pila de ladrillos 3

L (alto pila) = 43.07 cm

A (área)= 529.75 cm²

Esfuerzo (kg/cm²)	Deformación unitaria
0	0
0.01370468	5.62426E-05
0.15531971	0.000203879
0.18729732	0.000193334
0.21927491	0.000214425
0.24211604	0.00021794
0.28779833	0.000302304
0.33804882	0.000576487
1.03241932	0.001585339
3.93781154	0.006098808
9.19584157	0.011269613
7.20866223	0.019533761



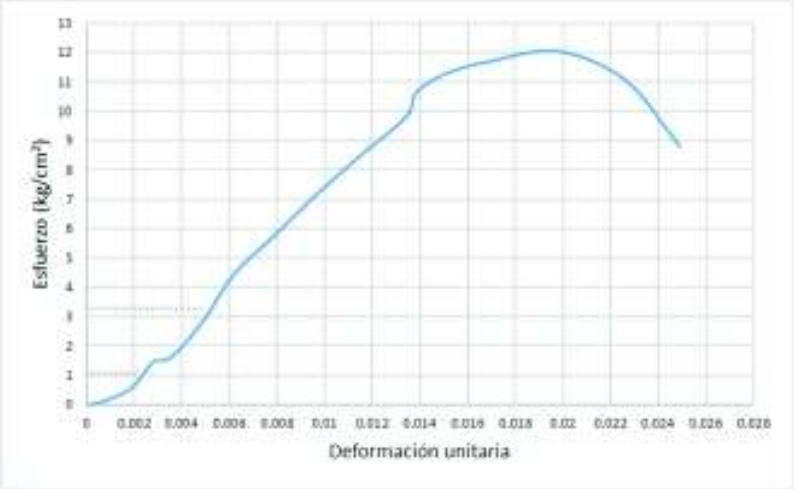
f´m = 7.63255 kg/cm²
0.33 f´m = 2.52 kg/cm²
0.05f´m = 0.83 kg/cm²
E= 637.74 kg/cm²

Pila de ladrillos 4

L (alto pila) = 43.33 cm

A (área)= 533 cm²

Esfuerzo (kg/cm²)	Deformación unitaria
0	0
0.0772405	0.000451049
0.0772405	0.000458042
0.0772387	0.000461522
0.0772387	0.000458026
0.0726952	0.000465019
0.0772387	0.000461522
0.0999559	0.000608371
0.5679313	0.001867068
1.4675347	0.002790113
1.5175126	0.003171219
1.6220119	0.003534843
2.0627267	0.004094264
3.0213946	0.005038287
4.4752992	0.006213072
5.7020307	0.007803925
7.174108	0.009664001
8.546231	0.01158002
9.8320276	0.013436598
10.668023	0.013866652
11.304105	0.015156819
11.71756	0.017009902
12.049231	0.019779036
11.067845	0.022611105
8.8188385	0.024904735



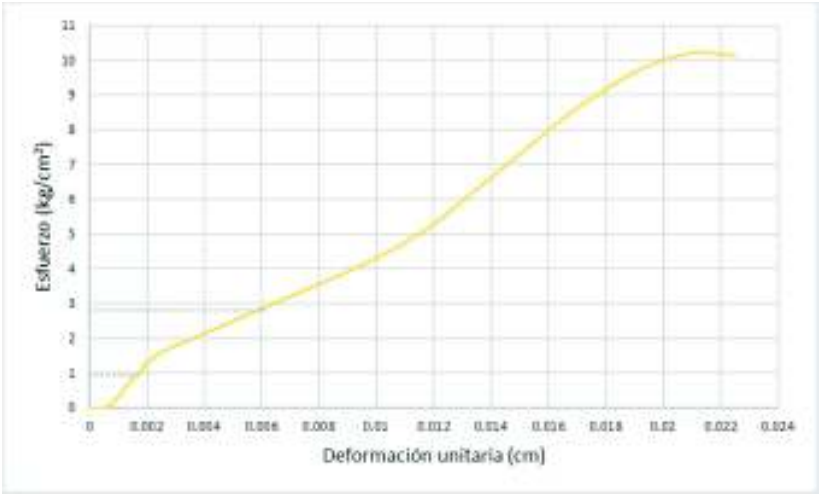
f´m =	10.001 kg/cm²
0.33 f´m =	3.3 kg/cm²
0.05f´m =	1.09 kg/cm²
E=	760.76 kg/cm²

Pila de ladrillos 5

L (alto pila) = 43.3 cm

A (área)= 525.96 cm²

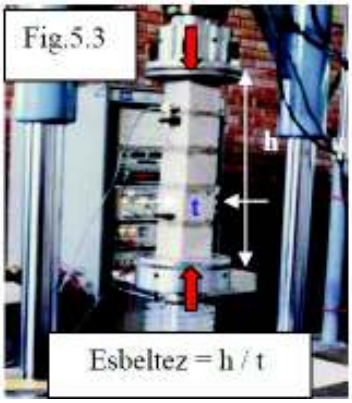
Esfuerzo (kg/cm²)	Deformación unitaria
0	3.49477E-06
0.0045988	0.000118822
0.0919762	0.000723418
0.7634021	0.001415383
1.1129116	0.001841745
1.2002889	0.001908146
1.2278818	0.00191164
1.2554746	0.001897661
1.3382531	0.0020724
1.6233792	0.002523226
2.7270934	0.005626584
4.6861854	0.010854764
6.682068	0.014073449
8.3376391	0.01653377
9.1838196	0.018033027
9.7126824	0.019109418
10.002408	0.020000583
10.154169	0.020647117
10.218551	0.021178323
10.200156	0.021720012
10.126575	0.022506337



f´m =	8.58358 kg/cm²
0.33 f´m =	2.83 kg/cm²
0.05f´m =	0.93 kg/cm²
E=	478.95 kg/cm²

ANEXO 4: CALCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO

Con los datos del ensayo a compresión de la mampostería de ladrillo (anexo 1) se determina el parámetro buscado, para esto divide la carga máxima soportada por cada pila de ladrillo entre el área bruta de la unidad de mampostería. Además, se debe aplicar un factor de esbeltez para corregir los valores, para esto se debe dividir la altura de la pila entre la menor dimensión transversal de la unidad (ver figura a continuación) y según el cuadro mostrado se debe aplicar el factor correspondiente a cada espécimen:



Fuente: Norma Peruana E070

TABLA 10
FACTORES DE CORRECCIÓN DE f'_m POR ESBELTEZ

Esbeltez	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5,0
Factor	0,73	0,80	0,91	0,95	0,98	1,00

Fuente: Norma Peruana E070

Se tomaron estos factores para este proyecto debido a que fueron determinados en un país cercano a Ecuador, donde se tienen materiales similares a los locales.

A continuación se presenta la tabla con los calculo y resultados obtenidos.

Carga de Rotura (kg)	Muestra	Anchos parciales (cm)			Largos parciales (cm)			Largo promedio (cm)	Ancho promedio (cm)	Alturas parciales (cm)			Altura promedio (cm)	Área= largo*ancho (cm²)	Esbeltez= altura/ancho	Factor de esbeltez	fm (kg/cm²)
3947.88	1	32.40	32.10	32.90	15.90	16.00	16.60	32.47	16.17	44.10	44.10	44.50	44.23	525.04	2.74	0.85	6.40
3366.77	2	32.85	32.60	32.30	16.30	16.70	16.00	32.58	16.33	46.60	46.20	45.90	46.23	532.03	2.83	0.87	5.52
4871.50	3	32.50	32.60	32.80	16.00	15.70	16.10	32.63	15.93	43.00	43.10	43.10	43.07	519.80	2.70	0.84	7.92
6422.24	4	32.50	32.50	32.50	16.30	16.40	16.50	32.50	16.40	43.00	43.50	43.50	43.33	533.00	2.64	0.83	10.02
5374.55	5	33.00	32.60	32.00	16.00	16.20	16.30	32.53	16.17	43.20	43.50	43.20	43.30	526.01	2.68	0.84	8.57
																Promedio =	7.69
																Desv. Est. =	1.77
																f'm (kg/cm²) =	5.91