



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS



FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS I

*“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN
DIAGONAL DE LA MAMPOSTERÍA ELABORADA CON
BLOQUES HUECOS DE CONCRETO, FABRICADOS EN EL
MUNICIPIO DE LARRÁINZAR, CHIAPAS.”*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
**MAESTRO EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN
CONSTRUCCIÓN**

PRESENTA

JORGE MARIO GUTIERREZ VAQUERIZO C121041

DIRECTOR DE TESIS

DR. EBER ALBERTO GODÍNEZ DOMÍNGUEZ

TUXTLA GUTIÉRREZ; ABRIL DE 2024



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
15 de abril del 2024
Oficio No. F.I.01.660/2024

C. JORGE MARIO GUTIÉRREZ VAQUERIZO
EGRESADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN
PRESENTE.

Con base en el Reglamento de Evaluación Profesional para los egresados de la Universidad Autónoma de Chiapas, y habiéndose cumplido con las disposiciones en cuanto a la aprobación por parte de los integrantes del jurado en el contenido de su Tesis Titulada:

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAGONAL DE LA MAMPOSTERÍA ELABORADA CON BLOQUES HUECOS DE CONCRETO, FABRICADOS EN EL MUNICIPIO DE LARRÁINZAR, CHIAPAS”.

CERTIFICO el **VOTO APROBATORIO** emitido por este jurado, y autorizo la entrega de tesis digital elaborada a través del Programa Institucional para la Obtención del Grado Académico (PIGA), para que sea sustentado en su Examen de grado de Maestro en Ingeniería con Formación en Construcción.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”

DR. OMAR ANTONIO DE LA CRUZ COURTOIS
DIRECTOR



Ccp. Dr. Humberto Miguel Sansebastián García. Coordinador de Investigación y Posgrado. Facultad de Ingeniería, Campus I. UNACH.
Archivo/minutario
OACC/HMSG/lcpg*





Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) Ing. Jorge Mario Gutiérrez Vaquerizo,
Autor (a) de la tesis bajo el título de "DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAGONAL DE LA MAMPOSTERÍA ELABORADA CON BLOQUES HUECOS DE CONCRETO, FABRICADOS EN EL MUNICIPIO DE LARRÁINZAR, CHIAPAS,"
presentada y aprobada en el año 20 24 como requisito para obtener el título o grado de Maestro en Ingeniería con Formación en Construcción, autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 16 días del mes de abril del año 20 24.


Ing. Jorge Mario Gutiérrez Vaquerizo

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a mis padres por brindarme siempre su amor y su apoyo incondicional para alcanzar mis objetivos académicos, brindándome sus consejos y regaños cuando fue necesario y sobre todo por llenarme de orgullo y ser un ejemplo para mí.

No puedo continuar sin agradecer enormemente al Dr. Eber Alberto Godínez Domínguez por permitirme ser parte de la segunda etapa de este gran proyecto y por su apoyo, dedicación y correcciones precisas, sin las cuales no me hubiera sido posible llegar a esta instancia. Extiendo los agradecimientos a Migue y a Fer, por su arduo trabajo y dedicación al realizar la primera etapa del proyecto, y por sus asesorías técnicas. Y agradezco también a Cristel y a Andrea por su colaboración y apoyo.

Agradezco a Iomara, mi novia, por permanecer siempre a mi lado en los momentos difíciles y alentarme con su amor absoluto, a nunca abandonar mis metas a pesar de las adversidades y esforzarme para alcanzarlas.

Hago mención del Programa Institucional para la obtención del Grado Académico (PIGA) por permitirme culminar con el proceso de titulación y cerrar el ciclo de mis estudios de maestría. Agradezco a la maestra Claudia Olivia Ichin Gómez por el acompañamiento brindado y sus valiosas correcciones en el transcurso del Taller de elaboración de tesis, y finalmente expreso mi profundo agradecimiento a la Universidad Autónoma de Chiapas, mi alma máter, y a los directivos de la Facultad de Ingeniería C-I por permitirme hacer uso de las instalaciones del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Resistencia de Materiales y Tecnología del Concreto para efectuar los ensayos requeridos.

Dedicatorias

Dedico este trabajo a Dios, agradeciendo desde el fondo de mi alma por tantas bendiciones y por otorgarme salud para poder culminarlo.

A dos personas que fueron muy importantes, y aunque no están más físicamente presentes, han sido parte de mi proceso. Mi abuelita Zoila Cordero Castillo, cuyas enseñanzas y principios siguen guiándome día a día y si bien mi corazón aun llora por tu ausencia, sé que hubieras sido feliz por mí y estarías orgullosa. Te extraño profundamente y esto es una pequeña forma de expresar que no voy a olvidarte. Y a la Sra. Blanca Cordero, querida tía, quien siempre expresó su amor por mí y la fé tan grande en lo que podía lograr. Te adelantaste, pero este logro también es para ti.

Índice General

Agradecimientos.....	IV
Dedicatorias.....	V
Índice General.....	VI
Índice de Tablas.....	VIII
Índice de figuras.....	IX
Índice de anexos.....	XII
Resumen.....	XII
Introducción.....	1
Antecedentes Históricos.....	2
Problema.....	5
Justificación.....	5
Hipótesis.....	6
Objetivos.....	7
Objetivo General.....	7
Objetivos Específicos.....	7
Alcances y Limitaciones.....	7
Organización de la Tesis.....	8
1. Marco Teórico.....	10
1.1 Estado del Conocimiento desde la Perspectiva de esta Investigación.....	10
1.1.1 La Compresión Diagonal en Muros de Mampostería no Reforzados Desde la Óptica de Meli (1974).....	12
1.1.2 Implementación de métodos experimentales para la determinación de la resistencia a compresión diagonal de mampostería.....	14
1.2 Conceptos elementales sobre la determinación de la resistencia a compresión diagonal y del módulo de cortante en muretes.....	20
1.3 Antecedentes de Investigaciones Previas Sobre Compresión Diagonal en Muretes de Mampostería.....	22
2. Metodología.....	29

2.1 Recopilación de Datos	29
2.2 Investigación Documental	30
2.3 Programa Experimental	31
2.3.1 Materiales.....	31
2.3.2 Equipo	37
2.3.3 Método de Ensayo.....	39
3. Resultados y Discusión	43
3.1 Ensaye de Muretes a Compresión Diagonal	43
3.1.1 Resistencia a compresión diagonal	47
3.1.2 Modos de falla.....	51
3.2 Discusión.....	54
3.2.1 Interpretación de resultados	54
3.2.2 Limitaciones y problemas	55
3.2.3 Recomendaciones y futuras investigaciones.....	56
Conclusiones.....	59
Referencias	62
Anexos	62

Índice de Tablas

Tabla 1 Ubicación de los proveedores	33
Tabla 2 Características de los proveedores seleccionados	35
Tabla 3 Dimensiones de Muretes	45
Tabla 4 Carga máxima soportada a compresión diagonal en muretes de BHC y mortero Tipo I.....	48
Tabla 5 Resistencia a compresión diagonal en muretes de BHC y mortero Tipo I.....	49
Tabla 6 Resistencia a compresión diagonal con fines de diseño en muretes de BHC y mortero Tipo I..	51
Tabla 7 Tipos de falla ocurridos en muretes de mampostería de BHC y mortero Tipo I	511
Tabla 8 Valores estimados para módulo de elasticidad y módulo de cortante a partir de la f'_m	55
Tabla 9 Resistencia a compresión diagonal en muretes con mortero Tipo I	555

Índice de Figuras

Figura 1 Templo de las Inscripciones, Palenque, Chiapas (Fuente:..Autor)	3
Figura 2 Tipos de bloques huecos de concreto (Fuente: Bloqueras.org (s.f)).	4
Figura 3 Obtención de la resistencia a compresión diagonal (Fuente: (ONNCCE, 2011, p.14)).....	17
Figura 4 Obtención del módulo de cortante (Fuente: (ONNCCE, 2011, p.15))	18
Figura 5 Tipos de fallas presentadas en muretes (Fuente: Elvira (2020, p.88)).....	24
Figura 6 Vista de ensaye a compresión diagonal de la mampostería (Fuente: Fernández et al. (2009, p.44)).....	25
Figura 7 Muretes de mampostería combinada con diferentes arreglos (Fuente: Tena et al. (2009, p.244)).....	26
Figura 8 Mapa de la delimitación territorial de municipio de Larráinzar, Chiapas con simbología (Fuente: (https://www.ceieg.chiapas.gob.mx/productos/files/MAPASMUNDC/Base_Larrainzar.pdf.pdf)).....	32
Figura 9 Distribución de proveedores de BHC en el municipio de Larráinzar (Fuente: (Gómez y Chanona, 2023, p. 31)).....	34
Figura 10 Proyecto de casa habitación realizada en el municipio de Larráinzar (Fuente: (Gómez y Chanona, 2023, p. 69)).....	34
Figura 11 Ubicación de proveedores para la primera fase (Fuente: Gómez y Chanona (2023, p. 42))	36
Figura 12 Transporte de bloques en la segunda etapa (Fuente: Gómez y Chanona (2023, p. 42))	37
Figura 13 Máquina universal del laboratorio de la Facultad de Ingeniería-UNACH (Fuente: Autor) ..	38
Figura 14 Cabezales y ángulos utilizados para la realización de los ensayos de los muretes (Fuente: Autor).....	39
Figura 15 Dispositivo para medir el acortamiento y el alargamiento de las diagonales (Fuente: ONNCCE (2011, p.9))	41
Figura 16 Elaboración de muretes y pilas de BHC (Fuente: proporcionada por el director de ésta tesis)	44

Figura 17 Colocación de ángulos de acero cuando las alas de los cabezales son más largas que la longitud de apoyo (Fuente: adaptación de la figura 3 de la NMX-C-464-ONNCCE-2010 (2011, p.8.))	46
Figura 18 Esquema de ensaye e instrumentación de murete y vista panorámica del ensaye realizado (Fuente: esquema obtenido de Elvira (2020, p.21.); fotografía elaboración propia).....	466
Figura 19 Especificaciones del hule neopreno empleado como cabeceo en los ensayos de muretes (Fuente: obtenida de https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-1413036690-placa-hule-neopreno-comercial-sbr-33cm-x-1m-x-18-espesor)	47
Figura 20 Grafica de las cargas máximas resistidas por los muretes a compresión diagonal (Fuente:Autor).....	49
Figura 21 Grafica de las resistencias a compresión diagonal de muretes (Fuente:.Autor).....	50
Figura 22 Detalle de los tipos de fallas presentadas en muretes (Fuente: elaboración propia con adaptación de esquemas de NMX-C-464-ONNCCE-2010 (2011, p. 22))	522
Figura 23 Detalle de las llaves de corte generadas en la mampostería (Fuente:.Autor).....	588

Índice de Anexos

ANEXO 1. Datos de los ensayos realizados y curvas carga vs tiempo por proveedor (Fuente:Autor).....	666
ANEXO 2. Tabla de resumen de datos calculados y obtenidos durante la investigación (Fuente: Autor).....	711
ANEXO 3. Tipo de falla registrado en cada murete ensayado (Fuente:.Autor).....	712
ANEXO 4. Terminología de interes relacionada con la investigación. (Fuente: NTCM-2023, 2023, p. 7-11).....	733

Resumen

En la región de los Altos del Estado de Chiapas se localiza el municipio de Larráinzar, el cual, al igual que muchos municipios en el país, carece de un reglamento o normativa para la construcción y diseño de estructuras, incluyendo las de mampostería. El desarrollo actual de vivienda en dicho municipio, así como en gran parte de la zona rural de Chiapas, se basa en sistemas de mampostería de bloques huecos de concreto (BHC), dejando de lado, por diferentes circunstancias, el uso de materiales y técnicas constructivas como el adobe y el bajareque. Por ello, en este trabajo de investigación se estudia el comportamiento a compresión diagonal de la mampostería fabricada con BHC proveniente de Larráinzar, Chiapas. Los ensayos se realizan en el Laboratorio de resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Se identificaron los modos de falla y se determinó la resistencia a compresión diagonal de diseño de 15 muretes de mampostería de 61.6 cm x 61.6 cm de dimensión promedio por lado. Los muretes de mampostería fueron construidos con BHC proveniente de cinco proveedores diferentes y mortero Tipo I, representativo de la práctica constructiva del municipio, y posteriormente ensayados siguiendo las especificaciones establecidas en la NMX-464-ONNCCE-2010 y las NTCM-2023.

Con base en los resultados obtenidos de los ensayos realizados a dichos muretes, se pudo identificar, como se reporta en diferentes estudios, que la adherencia bloque-mortero influye directamente en la resistencia a compresión diagonal de la mampostería. Del mismo modo, la colocación del mortero de pegue en toda el área bruta de las piezas (conforme a la práctica constructiva del municipio) forma llaves de cortante que favorecen a la resistencia de los muretes. La falla presentada en la mayoría de los casos ocurrió por cortante en la junta bloque-mortero, en ocasiones la falla fue combinada (por cortante y tensión diagonal) y en una sola ocasión se presentó una falla por tensión diagonal. Finalmente, se obtuvo un valor promedio para la resistencia a compresión diagonal de 5 kg/cm² y se determinó un valor de diseño de 3.18 kg/cm². El valor estimado para el módulo de cortante promedio fue de 4347.20 kg/cm².

Palabras clave: mampostería, resistencia a compresión diagonal, módulo de cortante, bloques huecos de concreto.

Introducción

En México, y particularmente en Chiapas, estado en el que predominan las construcciones de mampostería, se pueden contemplar varios materiales usados a lo largo del tiempo para este fin (por ejemplo: rocas, adobes y ladrillos). Los bloques de adobe han perdido la popularidad que tuvieron décadas atrás (en especial en el medio rural) y han sido reemplazados por los bloques huecos de concreto (BHC) como uno de los materiales más empleados actualmente por las propiedades y características que ofrecen.

A pesar de que existen estudios enfocados en la caracterización física y mecánica de diferentes tipos de mampostería fabricadas en regiones específicas, la variabilidad en las materias primas y los procesos de fabricación representan una limitante para su empleo en otras regiones del país; por lo que es relevante realizar la caracterización de las mampostería empleada en las diferentes regiones de México, y así contar con valores específicos de diseño, los cuales, a través de un estudio basado en muestras representativas, puede servir como base para definir criterios de análisis y diseño estructural.

En el municipio de Larráinzar, Chiapas, se fabrican BHC de dimensiones específicas, con superficie rugosa y de color gris claro, los cuales se emplean principalmente para la construcción de viviendas, las que varían ampliamente en características; por ejemplo, en superficie construida se encuentran desde muy pequeñas (aproximadamente 50 m²) o grandes (350 m² o más). Esto indica la necesidad de realizar la caracterización física y mecánica de la mampostería construida con BHC fabricados en esta región. Para tal fin, el director de esta tesis diseñó un programa experimental que contempla dos etapas. En la primera etapa, reportada con detalle en Gómez y Chanona (2023), se realizó la caracterización geométrica de las piezas, la determinación de la absorción de las piezas, la resistencia a compresión de piezas y pilas y la determinación de la

resistencia a compresión del mortero de pegue. En la segunda etapa, objeto de estudio en esta tesis, se realiza la determinación de la resistencia en compresión diagonal de la mampostería, así como la estimación del módulo de rigidez.

Lo anterior representa un aspecto muy importante a considerar con fines de diseño sísmico, sobre todo en zonas con peligro sísmico elevado, como se presenta en gran parte de los municipios del estado de Chiapas. Para la obtención de la resistencia en compresión diagonal toman relevancia tanto las propiedades de los BHC y el mortero de pegue, los cuales interactúan al conformar los muretes ensayados en el laboratorio de la facultad de ingeniería de la UNACH.

Con base en los resultados de pruebas experimentales realizadas a 15 muretes de BHC de cinco proveedores del municipio de Larráinzar construidos empleando mortero tipo 1 (3 especímenes por cada proveedor), se determina la resistencia a compresión diagonal con fines de diseño. Para el desarrollo de la investigación se toma como referencia las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCM-23, 2023) y la norma mexicana 464 emitida por del organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, s. c. (NMX-C-464-ONNCCE-2010, 2011).

Antecedentes Históricos

A nivel mundial, son numerosas las grandes obras construidas con mampostería que han perdurado a través del tiempo y son prueba de la durabilidad y versatilidad de este método de construcción. Tanto la Gran Muralla en China, Machu Picchu en Perú, las pirámides de Egipto, así como las grandes ciudades Mayas construidas en nuestro país (Figura 1), el acueducto de Querétaro y el fuerte de San Juan de Ulúa en Veracruz, dan fe de que, sin importar la región, la época o los materiales que hayan sido empleados, la mampostería es una opción confiable y duradera para construir, siempre y cuando se cumplan con ciertos criterios específicos.

Figura 1

Templo de las Inscripciones, Palenque, Chiapas.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

La mampostería es uno de los materiales de construcción más antiguos y, por más que los años transcurran y los avances tecnológicos permitieran que la construcción con mampostería se haya industrializado, se siguen relacionando con procesos artesanales tanto la fabricación de piezas como los procesos constructivos.

De manera general, en Chiapas, las construcciones a base de muros de mampostería de BHC son muy populares por su versatilidad; tanto así que hoy en día la utilización de la mampostería con fines estructurales y no estructurales se sigue utilizando ampliamente. Lo anterior se debe en gran medida a las propiedades de este tipo de bloques, ya que las oquedades en los bloques favorecen el aislamiento acústico y térmico, además de que permiten la colocación de elementos de refuerzo o algunas tuberías para servicios.

Si bien es cierto que los BHC como los conocemos hoy en día han sido el resultado de las diferentes aportaciones realizadas por empresas y personas dedicadas a la construcción, no se cuenta con demasiada información sobre sus orígenes o a quien se le atribuye su invención. Sin embargo, de acuerdo con el sitio de internet Bloqueras.org (s.f), Harmon Sylvanus Palmer patentó en 1890, un mecanismo con los que fabricó los primeros BHC, los cuales eran tan pesados que requerían de una pequeña grúa para manipularlos.

Figura 2
Tipos de bloques huecos de concreto



Nota. Fuente: Recuperado de Bloqueras.org (s.f).

Actualmente se encuentran en el mercado BHC de diferentes tipos (Figura 2), pero lamentablemente, no en todos los casos siguiendo las especificaciones de las normas vigentes, ni en lo referente a geometría ni a resistencia, en especial a aquéllos fabricados artesanalmente. Por lo anterior, puede ocurrir que las piezas de mampostería no cumplan con los requisitos para su uso en elementos estructurales o no estructurales. Para estar acorde con los criterios especificados en las NTCM (2023), los BHC a considerarse para su empleo en elementos estructurales deben cumplir con criterios geométricos y de resistencia.

Problema

De acuerdo al servicio geológico mexicano (SGM, 2017), el estado de Chiapas se sitúa en una de las zonas de mayor riesgo sísmico al sur de México, razón por la cual, gran parte del territorio chiapaneco ha estado expuesto a sismos de magnitudes considerables y que épocas recientes han causado afectaciones a numerosas viviendas y edificaciones de mampostería. El alto peligro sísmico de Chiapas también se encuentra definido, desde hace décadas, en el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (MOC-15, 2015).

Por tal motivo, es fundamental tener conocimiento de las propiedades y características de los materiales que se emplean para la construcción de estructuras de mampostería, de tal manera que se propongan valores de diseño más adecuados y se tomen mejores criterios al hacer los diseños sísmicos correspondientes. Lamentablemente, como ocurre en la mayoría de los municipios, en Larráinzar no se cuenta con normas técnicas locales, lo cual es un problema cuando se busca que el comportamiento estructural ante cargas verticales y laterales sea adecuado para cada proyecto.

Justificación

Según el marco geoestadístico del instituto nacional de estadística y geografía (INEGI), para 2020, Larráinzar registró una población de 31 259 habitantes. Asimismo, el compendio de información geográfica municipal 2010, señala que en el municipio predomina la zona rural. “La zona urbana está creciendo sobre roca sedimentaria [...] en sierra alta de laderas tendidas; [reemplazando] áreas donde originalmente había suelos previamente ocupado por agricultura y bosque” (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010, p.3).

Ante tal crecimiento demográfico, se ha producido un incremento en el desarrollo referente a la realización de obras. En su mayoría, estas obras se tratan de estructuras de mampostería,

siendo los BHC uno de los principales mampuestos utilizados y fabricados en el municipio. La mampostería es el método de construcción más popular en la región, lo cual se debe en gran medida a lo benevolente que resulta su sistema constructivo que no requiere de equipo ni mano de obra muy especializados. Sin embargo, cuando este material se emplea con fines estructurales en muros que deben soportar cargas verticales y horizontales, se requieren ciertos parámetros de diseño establecidos por las normativas vigentes para garantizar un comportamiento adecuado.

Lamentablemente, se carece de normas técnicas locales y debido a ello, de ser empleadas, se aceptaría el empleo de forma suplementaria de otras, como las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCM, 2023). Obviamente, en dichas normas no se contemplan las características y propiedades de los materiales locales, por lo que resulta preciso desarrollar normas técnicas particulares de cada región, y para lograrlo es indispensable realizar una serie de ensayos para la caracterización de la mampostería, entre los cuales está la resistencia a compresión diagonal.

Se consideran exclusivamente los muros de BHC por ser el mampuesto más utilizado, y al asociar tanto los materiales como los procedimientos artesanales aplicados en la fabricación de piezas y en los procesos constructivos, con la región de Los Altos, los parámetros de diseño podrán ser sugeridos para considerarse en toda la zona.

Hipótesis

Al apearse estrictamente a la normativa de referencia durante la realización de las pruebas y ensayos de laboratorio requeridas, se espera obtener datos confiables que, tras su análisis, sirvan como parámetro de diseño de muros de mampostería contruidos con base en BHC fabricados en el municipio de Larráinzar.

Objetivos

En este apartado se enuncian los objetivos contemplados para el desarrollo de la presente investigación.

Objetivo General

Determinar, con base experimental, la resistencia a compresión diagonal de la mampostería elaborada con bloques huecos de concreto, fabricados y utilizados en el municipio de Larráinzar, Chiapas.

Objetivos Específicos

- a) Realizar, conforme a los procedimientos indicados en la normativa de referencia, el ensayo a compresión diagonal de 15 muretes de mampostería, contruidos empleando BHC y mortero tipo 1.
- b) Calcular los valores para la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante, según los estándares de las normas mexicanas vigentes, para su análisis estadístico.
- c) Determinar la resistencia de diseño a compresión diagonal y comparar con los valores normativos de referencia.

Alcances y Limitaciones

El alcance de esta tesis radica en la determinación de la resistencia a compresión diagonal de muretes de mampostería contruidos con BHC fabricados en una localidad específica. Para tal fin, se han considerado los materiales y procedimientos aplicados tradicionalmente en el municipio de Larráinzar, Chiapas. En el proyecto se limita al ensaye de quince muretes elaborados con piezas de BHC de cinco proveedores y un único proporcionamiento de mortero; ambos empleados principalmente para la construcción de viviendas. Cabe señalar que no se consideraran otras propiedades mecánicas (ensayo a compresión axial) ni la caracterización de las piezas, toda vez

que esos datos han sido previamente estudiados y reportados en una etapa previa por otros participantes de este proyecto (Gómez y Chanona, 2023).

Organización de la Tesis

La organización de la presente tesis se llevó a cabo en tres capítulos y un anexo. Después de la introducción, en la que se expone resumidamente el tema de estudio, incluyendo los antecedentes históricos que se relacionan con la mampostería y los bloques huecos de concreto, los objetivos, los alcances y las limitaciones de la investigación realizada, se presentan los capítulos que se describen brevemente a continuación.

El capítulo uno se integra por una breve recopilación de investigaciones previas relacionadas con la compresión diagonal de muretes de mampostería. Además, se incluyen conceptos elementales para el desarrollo del tema. Finalmente, se mencionan las normativas mexicanas que rigen la construcción con mampostería y los aspectos relevantes que se emplearon para el desarrollo de esta investigación.

En el capítulo dos se describe la metodología experimental empleada, incluyendo el equipo y los materiales utilizados para la realización de los ensayos.

En el capítulo tres se presentan los resultados obtenidos de los ensayos mencionados en el capítulo anterior, realizando un análisis de los mismos y la comparación con los valores indicados en la normativa mexicana de referencia.

Finalmente, se plantean las conclusiones obtenidas del estudio realizado, y a partir de esta breve presentación del contenido de esta tesis, se da paso al primer capítulo correspondiente al marco teórico.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.Marco Teórico

Este texto trata acerca del análisis de la mampostería de bloques huecos de concreto (BHC), la cual según Gómez y Chanona (2023), se ha mantenido durante el año 2023 como uno de los sistemas más utilizados para la construcción de estructuras en el municipio de Larráinzar, Chiapas. Al ser tan popular la construcción con mampostería, resulta indispensable garantizar la seguridad y estabilidad de las edificaciones. En ese sentido, se considera la resistencia a compresión diagonal como un factor crucial para lograrlo, en particular al estar las estructuras ubicadas en zonas sísmicas.

La investigación que a continuación se presenta, se centró en el estudio del comportamiento de muretes de mampostería manufacturados a partir de piezas de BHC, sometidos a compresión diagonal. Como parte del programa experimental, en los muretes elaborados con los bloques que se fabrican y utilizan en Larráinzar, Chiapas, se identificaron los modos de falla para determinar la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante.

Para lograrlo se realizó el ensaye de 15 muretes en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Resistencia de Materiales y Tecnología del Concreto de la Facultad de Ingeniería de la UNACH conforme al protocolo indicado en las normas de referencia.

1.1 Estado del Conocimiento desde la Perspectiva de esta Investigación

En este apartado se presenta una revisión del estado del conocimiento sobre el comportamiento y diseño de muretes de mampostería simple sometidos a compresión diagonal, sustentado en resultados de investigaciones experimentales realizadas en diferentes estados de la república mexicana y en décadas distintas. Se enfatiza en la mampostería elaborada con BHC por ser la de uso más común en la zona de estudio.

En Fernández, Marín, Varela, y Vargas (2009) y Elvira (2020) se puede consultar una revisión detallada de los resultados de proyectos de investigación en el territorio mexicano y del comportamiento de elementos de mampostería de BHC y de tabiques de arcilla. Tena et al. (2009) por su parte, presenta una revisión del comportamiento ante cargas laterales en muros de mampostería combinada y confinada, donde se colocan hiladas de BHC y se alternan con hiladas de tabiques de arcilla.

Entonces, para abordar el tema de la resistencia a compresión diagonal de la mampostería, con el fin de proponer un parámetro de diseño, es necesario retroceder varios miles de años atrás hasta la época en la que, de acuerdo con Alcocer (1997) “la construcción de edificios de mampostería se hizo mediante el método de prueba y error, es decir, en donde la experiencia de éxitos y fracasos, sirvió para establecer las reglas y costumbres en la edificación” (p.164). Teniendo en cuenta lo anterior, queda claro que los conocimientos se adquirían de forma desorganizada y sin fundamentos claros, lo cual muy probablemente limitaba la replicación de aquellas metodologías primitivas a construcciones de mampostería con los mismos materiales y en el mismo entorno.

Como era de esperarse, con la evolución y el progreso en la construcción, comenzaron a aparecer patrones y a surgir ideas estructuradas que fueron actualizándose con base en las investigaciones que se han ido desarrollando sobre el tema. Tales investigaciones se han realizado en diferentes países, entre los cuales México no es la excepción. Como lo plantea Alcocer (1997), el diseño por resistencia última en la mampostería comenzó a usarse hasta hace apenas unas décadas, lo cual coincide con los trabajos realizados en los años 70’s por el Dr. Roberto Meli Piralla quien, es indiscutiblemente el pionero en temas de diseño estructural en México. Abundando en ello, es importante decir que el diseño por resistencia última “pretende aprovechar

la resistencia de los materiales y establecer factores de seguridad conocidos para varios estados límite” (Alcocer, 1997, p. 164).

Meli Piralla desarrolló en el Instituto de Ingeniería un proyecto experimental a largo plazo del cual obtuvo conclusiones que ahora son las bases de las normativas para la construcción con mampostería en México. Entre otras cosas, se encontró con que era necesario conocer las propiedades mecánicas de la mampostería, así como sus mecanismos de falla y hallar ensayos sencillos para determinar los índices de las propiedades de la mampostería. Finalmente, consideró lo importante de conocer la variabilidad de las propiedades de las piezas y mortero, así como la variabilidad de las propiedades de ambas en conjunto (1974).

Los trabajos desarrollados como parte de aquel proyecto contemplaron diversos ensayos con distintas variables, sin embargo, conforme al tema y los alcances de esta investigación, únicamente se retoma un fragmento, el cual se discute en la sección siguiente.

1.1.1 La Compresión Diagonal en Muros de Mampostería no Reforzados Desde la Óptica de Meli (1974)

Se consideran únicamente los muros sin refuerzo, en los cuales, los ensayos a compresión diagonal presentan un comportamiento lineal hasta la falla, la cual ocurre de forma completamente frágil tal como lo explica Meli (1974).

Dentro de las conclusiones cualitativas sobre la resistencia de muros obtenidas de su investigación se tiene que no encontró una importante diferencia entre las resistencias de muros sin refuerzo y de los que tienen refuerzo exterior, así como que la calidad del mortero sí afecta la resistencia. Por otra parte, de acuerdo con valores reportados por Meli (1974), se considera que el esfuerzo cortante varía entre 2 y 10 kg/cm² dependiendo directamente del tipo de piezas empleadas en su elaboración. Las piezas de baja resistencia y huecos grandes, con superficies lisas propiciarán

valores de esfuerzo cortante menores, mientras que las resistencias mayores están vinculadas al anclaje mecánico producido por la rugosidad de las piezas y los huecos pequeños en los que se introduce el mortero.

Además, Meli Piralla señala que, en la mayoría de los casos las fallas ocurren a través de las juntas y no pudo encontrar una teoría de falla que represente esos resultados adecuadamente. Caso contrario a lo ocurrido en los casos en los que la falla ocurre por tensión diagonal neta, toda vez que el mecanismo de falla es claro y existe una teoría de falla que pueda representarlo. Finalmente, menciona que, en el caso de la resistencia a cortante, no hay manera de correlacionar la resistencia del conjunto (murete) con las propiedades de las piezas.

1.1.1.1 Predicción de la Resistencia a Cortante.

Se retoma en este apartado el procedimiento planteado por Meli (1974) para la evaluación de la resistencia de muros de mampostería simple a cortante.

Resulta lógico pensar que los valores empleados en el diseño deberán estar por debajo de las resistencias máximas reportadas de los ensayos realizados. Por este motivo se emplean en el diseño valores conservadores para garantizar la seguridad de la estructura. Dicho en otras palabras, “la resistencia de muros en condiciones de laboratorio es en promedio mayor que la calculada con las expresiones propuestas” (Meli, 1974, p. 63).

Considerando únicamente muros aproximadamente cuadrados y sin refuerzo, Meli presenta una expresión conservadora (Ec. 1.1) y de aproximación aceptable en el entendido de que “el esfuerzo cortante de falla debe ser aproximadamente proporcional a la raíz cuadrada de la resistencia en compresión” (Meli, 1974, p. 34).

$$v = 0.8 \sqrt{f'_m} \quad \text{Ec. 1.1}$$

donde:

v es el esfuerzo cortante de falla y f'_m es la resistencia en compresión del muro.

Sin embargo, considera que “el mejor índice de la resistencia de un muro [es] el esfuerzo cortante medio de falla registrado en los ensayos de muretes” (Meli, 1974, p. 35). Dicho lo anterior, mediante correlaciones de resultados de ambos métodos pudo formular una expresión (Ec. 1.2) para predecir la carga de agrietamiento de un muro sujeto a compresión diagonal.

$$v = 0.8 v_{CD} \quad \text{Ec. 1.2}$$

donde:

v es el esfuerzo cortante de falla y v_{CD} es el esfuerzo cortante medio de falla registrado en los ensayos en compresión diagonal del muro.

1.1.2 Implementación de métodos experimentales para la determinación de la resistencia a compresión diagonal de mampostería

Derivado de las experimentaciones realizadas años atrás, se han estandarizado los procedimientos para elaboración y ensaye de muretes de mampostería. Eventualmente, a nivel internacional se manejan normativas como las emitidas por la *American Society for Testing and Materials* (ASTM), particularmente la ASTM E519, la cual establece las especificaciones y procedimientos para la determinación de la resistencia a compresión diagonal (cortante) de muretes de mampostería. Sin embargo, para fines de esta investigación se consideran únicamente las normativas mexicanas.

Retomando parte de los fundamentos del planteamiento de esta investigación, se estima que, de manera generalizada, las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción

de Estructuras de Mampostería (NTCM) publicadas en la gaceta oficial de la Ciudad de México, son los que se aplican indistintamente en las diferentes regiones del país a excepción de los municipios que cuentan con su propio reglamento particularizado con base en los materiales y particularidades del lugar (casos aislados). Con base en ello, las NTCM-23 (2023), describen los procedimientos y consideraciones para determinar si la mampostería cumple con los parámetros mínimos requeridos. A su vez, las NTCM-23 referencian a la norma mexicana Norma NMX-C-464-ONNCCE-2010 emitida por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C (ONNCCE); que complementa los procesos para la selección, elaboración y ensaye de muretes de mampostería.

1.1.2.1 Normas Técnicas Complementarias para la Construcción con Mampostería

Hacer un análisis de las normativas y estándares actuales resulta fundamental para comprender el marco normativo que normaliza la determinación de la resistencia a compresión diagonal en mampostería de bloques huecos de concreto. Se han examinado la aplicabilidad y limitaciones de las NTCM, proponiendo ajustes y mejoras que se ven reflejadas en su versión con comentarios del 2023.

La resistencia a compresión diagonal v'_m , está considerada para muretes ensayados a la edad de 28 días, los cuales deben cumplir con una longitud de al menos una vez y media la longitud de la pieza, mientras que el número de hiladas debe ser el requerido para aproximar la altura del mismo a la longitud. Tras el ensayo de los muretes, el esfuerzo cortante medio se determinará al dividir la carga máxima entre el área bruta del murete medida sobre la misma diagonal de acuerdo a la ecuación 1.3 (NTCM-23, 2023, p.26).

$$v'_m = \frac{\overline{v_m}}{1+2.5 c_v} \quad \text{Ec. 1.3}$$

donde:

\overline{v}_m es la resistencia media a compresión diagonal de muretes, calculada sobre área bruta medida a lo largo de la diagonal paralela a la carga, MPa (kg/cm^2) y C_v es el coeficiente de variación de la resistencia a compresión diagonal de muretes de mampostería, que no será menor que 0.2. (NTCM-23, 2023, p.26).

En las NTCM-23 se hace hincapié en apegarse a la norma mexicana NMX C-464-ONNCCE-2010 en cuanto al tamaño de los cabezales ya que en caso de ser incorrectas los resultados serán erróneos.

1.1.2.2 Norma NMX-C-464-ONNCCE-2010.

Las pruebas de laboratorio y la validación experimental son fundamentales para respaldar cualquier análisis teórico, es por ello que es muy importante apegarse a las especificaciones y así obtener resultados confiables y verídicos.

1.1.2.2.1 Aspectos de la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE-2010 que se emplean en esta investigación.

La parte experimental descrita en la norma NMX-C-464-ONNCCE-2010 ha sido considerada en el capítulo siguiente de este documento. Por ende, se describe en este apartado únicamente lo referente a la teoría relacionada con las expresiones matemáticas que plantea la norma para determinar la resistencia a compresión diagonal en los muretes.

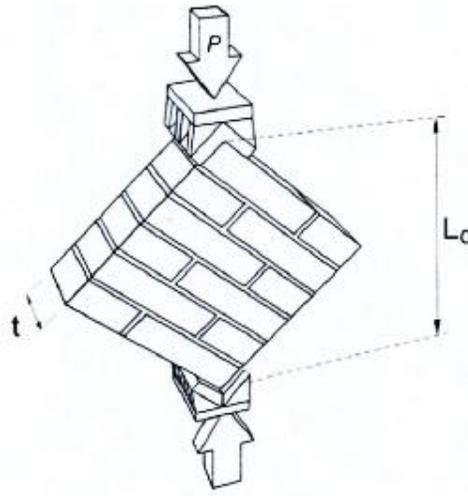
Según la norma NMX-C-464-ONNCCE-2010, la resistencia a compresión diagonal se obtiene mediante la ecuación 1.4 al dividir la carga máxima entre el área bruta del murete, la cual debe ser medida antes del ensayo sobre la longitud de la diagonal a compresión (Figura 3). El resultado obtenido debe expresarse con aproximación de 0.01 MPa o 0.1 kg/cm^2 (NMX-C-464-ONNCCE-2010, 2011).

$$v_m = \frac{P}{t L_c} \quad (1.4)$$

donde:

v_m es la resistencia a compresión diagonal del murete en MPa (kg/cm^2), P es la carga máxima aplicada en N (kg), t es el espesor del murete en mm (cm) y L_c es la longitud de la diagonal a compresión en mm (cm). (NMX-C-464-ONNCCE-2010, 2011, p.14)

Figura 3
Obtención de la resistencia a compresión diagonal



Nota. Fuente: (ONNCCE, 2011, p.14)

Al igual que las consideraciones establecidas por Meli (1974) y por la Secretaría de Obras y Servicios de la Ciudad de México [SOSCDMX] (2020), para que el ensayo sea aceptado:

el modo de falla puede ser por tensión diagonal donde las grietas atraviesan piezas y juntas, por cortante en donde la grieta sigue las juntas o por una combinación de ellos. Si se produce el aplastamiento de una de las esquinas cargadas sin que se llegue a los anteriores

modos de falla no se acepta el resultado del ensayo. (NMX-C-464-ONNCE-2010, 2011, p.14)

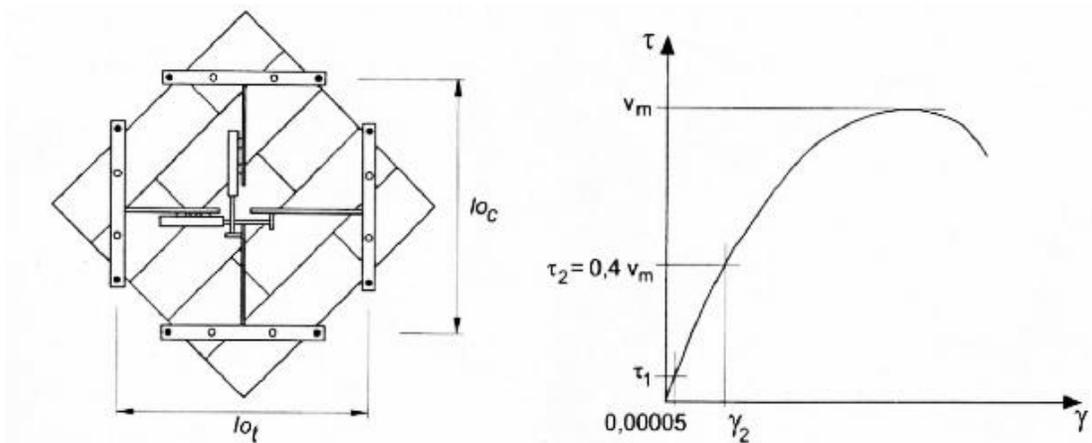
La resistencia de diseño a compresión diagonal según la norma NMX-C-464-ONNCE-2010, se calcula mediante la ecuación 1.5.

$$v_m^* = \frac{\overline{v_m}}{1+2.5C_v} \quad (1.5)$$

donde:

v_m^* es la resistencia a compresión diagonal para fines de diseño en MPa (kg/cm^2), $\overline{v_m}$ promedio de los esfuerzos resistentes de los muretes ensayados referida al área bruta en MPa (kg/cm^2), y C_v es el coeficiente de variación de los esfuerzos resistentes de los muretes ensayados calculado como el cociente de la desviación estándar entre la media y que no se debe tomar menor que 0.1 para el caso de verificar el control de calidad en obra, ni que 0.20 en otros casos. (NMX-C-464-ONNCE-2010, 2011, p.15)

Figura 4
Obtención del módulo de cortante



Nota. Fuente: (ONNCE, 2011, p.15).

Finalmente, hay que aclarar que el módulo de rigidez a cortante de la mampostería corresponde únicamente a las piezas y mortero cuyo tipo y características se emplearon en la elaboración de las probetas, y se calcula mediante la ecuación 1.6 con base en la Figura 4.

$$G_m = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\gamma_2 - 0.00005} \quad (1.6)$$

donde:

G_m es el módulo de cortante en MPa (kg/cm^2), τ_1 es el esfuerzo cortante correspondiente a 0.00005 de deformación angular en MPa (kg/cm^2), τ_2 es el fuerza cortante correspondiente al 40% de la carga máxima en MPa (kg/cm^2) y, γ_1 es la deformación angular producida por el esfuerzo τ_2 . (NMX-C-464-ONNCE-2010, 2011, p.15)

La deformación angular " γ " se calcula mediante la ecuación 1.7, con base en las ecuaciones 1.8 y 1.9.

$$\gamma = |\epsilon_c| + |\epsilon_t| \quad (1.7)$$

$$\epsilon_c = \frac{\delta_c}{l_{o_c}} \quad (1.8)$$

$$\epsilon_t = \frac{\delta_t}{l_{o_t}} \quad (1.9)$$

donde:

ϵ_c es la deformación unitaria de la diagonal a compresión, ϵ_t es la deformación unitaria de la diagonal a tensión, δ_c es el acortamiento medido sobre la longitud instrumentada de la diagonal a compresión en mm, δ_t es el alargamiento medido sobre la longitud

instrumentada marcada de la diagonal a tensión en mm, l_{o_c} es la longitud instrumentada, en mm, medida antes del ensayo, de la diagonal a compresión medida entre los tornillos de sujeción de los apoyos de transductores, l_{o_t} es la longitud instrumentada, en mm, medida antes del ensayo, de la diagonal a tensión medida entre los tornillos de sujeción de los apoyos de transductores, como se muestra en la figura 2.2. (NMX-C-464-ONNCE-2010, 2011, p. 16)

1.1.2.2.2 Límites y limitaciones en la propuesta de la norma.

Si bien es cierto que las ecuaciones presentadas en la norma están formuladas para aplicarse generalizadamente con los resultados obtenidos de ensayos a compresión diagonal, habrá ocasiones en las que no será posible aplicarlas. Tal es el caso de la investigación realizada por Fernández et al. (2009), que si bien se basó en el Anteproyecto de la norma NMX-MURETES (2003), contiene las mismas ecuaciones.

Según lo expresan Fernández et al. (2009), la formula no fue aplicable a los resultados que obtuvieron debido a que las deformaciones por cortante fueron demasiado pequeñas. En su lugar calculó el módulo de cortante partir de los esfuerzos cortantes al 40% y al 20% de la carga máxima, criterio diferente a lo solicitado por la norma, la cual dice que “el módulo de cortante se debe calcular a partir de una rigidez secante definida con dos puntos: que corresponden a los esfuerzos cortantes al 40% de la carga máxima y a una deformación angular de 0.00005” Fernández et al. (2009, p. 49).

1.2 Conceptos elementales sobre la determinación de la resistencia a compresión diagonal y del módulo de cortante en muretes

Al tratar el tema de la resistencia a compresión diagonal en muros de mampostería, es necesario establecer la relación tan importante que se tiene con los fundamentos teóricos del diseño

estructural. Retomando las palabras de Meli (2001, p. 15), se tiene que el diseño estructural es “el proceso más general del proyecto de una obra civil, en el cual se definen las características que debe tener la construcción para cumplir de manera adecuada las funciones que está destinada a desempeñar”. En este sentido, queda bastante claro que, al tratarse de muros de mampostería, se debe garantizar que estos sean seguros, funcionales y duraderos, además de resistir satisfactoriamente cargas a cortante significativas a las que puedan ser sometidos por la acción de eventos externos a la estructura de la cual forman parte. Estos eventos son generalmente sismos, pero podrían llegar a considerarse vientos de gran intensidad.

En el proceso del diseño estructural deben realizarse cálculos considerando los resultados derivados de series de ensayos y mediciones realizadas. Dentro de las variables que pueden afectar directamente la resistencia del muro, entre las que destacan las piezas con las que se elaboran los muros y el mortero de pegue. Antes de ahondar en el tema de las variables que conforman la mampostería, es necesario definir este concepto. Citando a Tomazevic (1996, como se citó en Alcocer, 1997, p. 164), “la mampostería es el material compuesto por excelencia, integrado por piezas naturales o artificiales, generalmente prismáticas, unidas por algún aglutinante o mortero”. Además, señala que, por naturaleza “este conglomerado es débil a esfuerzos de tracción y exhibe un comportamiento frágil, caracterizado por una rápida degradación de resistencia y rigidez”.

Considerando esos aspectos desfavorables de la mampostería, pueden incluirse refuerzos de acero que mejoren su resistencia, sin embargo, al considerar únicamente muros de mampostería simple en esta investigación, no se profundizara en el tema.

Continuando con la definición de Tomazevic (1996), puede decirse entonces que, para el caso de ésta investigación, una pieza de mampostería es aquel elemento prismático rectangular y

artificial, el cual tiene la particularidad de ser hueco. Cada pieza ha sido fabricada mediante un proceso de moldeado y compactación de concreto, en el municipio de Larráinzar, Chiapas.

Por su parte, el mortero es el aglutinante que está elaborado a base de cemento Portland, arena y agua. Después de un proceso de fraguado, el mortero alcanza su máxima resistencia después de 28 días, cuya función principal es la de mantener a las piezas unidas entre sí para conformar un muro que se comporte como un único elemento.

Otro concepto relevante por considerar es el asociado a fallas por compresión diagonal en la mampostería, que de acuerdo con Meli (1974), se considera lo siguiente:

La falla de un muro por efecto de fuerzas cortantes ocurre generalmente a través de grietas inclinadas debidas a tensiones diagonales. Estas grietas se forman generalmente a lo largo de las juntas, propiciadas por la debilidad de la unión pieza-mortero; sin embargo, para piezas con baja resistencia y buena adherencia con el mortero, las grietas atraviesan indistintamente piezas y mortero. (Meli, 1974, p.22)

1.3 Antecedentes de Investigaciones Previas Sobre Compresión Diagonal en Muretes de Mampostería

En este apartado se presenta una breve revisión de estudios sobre la elaboración y el comportamiento de mampostería sometida a compresión diagonal. Diversas fuentes fueron consultadas y por cuestiones de espacio, se retoman únicamente tres documentos, los cuales, de manera general, brindan un panorama del estado actual en México en relación a este tema de estudio.

Gran parte de las investigaciones realizadas sobre mampostería se han enfocado en el estudio de las propiedades mecánicas de los materiales con base en las normativas vigentes en el periodo de investigación. En este contexto, autores como Fernández et al. (2009), Tena et al.

(2009), Lizárraga (2017), Delgado et al. (2018), Catalán et al. (2019), Elvira (2020) y Zacaria y Sánchez (2021) han realizado investigaciones que parten desde este enfoque y se apegan a los procedimientos de las normas mexicanas que se toman de referencia en esa investigación.

En el caso de las investigaciones realizadas por Fernández et al. (2009) y Tena et al. (2009) se usan versiones anteriores. En México, la NTCM-2023 y la NMX-464-ONNCCE-2010, son actualmente las normativas vigentes que establecen los requerimientos para la elaboración y ensaye a compresión diagonal de probetas de mampostería.

Al considerarse de carácter experimental, no es extraño que en este rubro se presenten las mayores disimilitudes entre las investigaciones consultadas. Lo anterior se sustenta en el hecho de a pesar que en los tres casos se recrea el mismo fenómeno para su estudio, cada autor lo aborda un contexto diferente en cada caso. Los materiales empleados en la construcción con mampostería son muy diversos debido a la variedad de piezas y combinaciones de mortero que puede tener.

Teniendo en cuenta lo anterior, en la zona metropolitana de Monterrey, Elvira (2020) trabajó con muretes sujetos a compresión diagonal elaborados con bloques multiperforados de arcilla extruida de 11x19x39 cm. En la experimentación se contemplaron cuatro variables al utilizar dos tipos de mortero y dos tipos de junta. En el caso del mortero, se utilizó mortero Tipo I con relación 1:3 y mortero industrializado dosificado en planta; mientras que, en el caso de los dos tipos de acomodo utilizados para la junta se consideraron la que rodea el perímetro de la pieza y la que cubre toda la superficie.

Elvira (2020) concluyó que la resistencia de diseño a cortante óptima es de 0.25 MPa (2.5 kg/cm²) y sugiere la colocación del mortero en toda la superficie de la pieza. Además, se reporta que ambas configuraciones con mortero industrializado satisfacen los valores de diseño que especifica la NTCM-2017, la configuración con junta alrededor de la pieza con un 25% por arriba

del valor indicado y en los muretes con junta en el área bruta con 58%. Sin embargo, los resultados para las configuraciones con mortero Tipo I no fueron tan favorables, reportando incluso valores por debajo del indicado en la NTCM-2017. Finalmente, respecto a los tipos de falla ocurridos en los ensayos, hubo gran variedad en los resultados (Figura 5). Se reportaron fallas por cortante, fallas por tensión diagonal y fallas combinadas de las dos anteriores. Predominaron las fallas causadas por adherencia de las juntas (por cortante) y se reportó un único caso de aplastamiento de las esquinas, que se descartó según la normativa.

Figura 5

Tipos de fallas presentadas en muretes



1) Falla por cortante.

2) Falla combinada.

3) Falla por tensión diagonal.

Nota. Fuente: Elvira (2020, p.88).

Fernández et al. (2009) desarrollaron una investigación en la ciudad de Mérida. Trabajaron con dieciocho muretes elaborados con bloques huecos de concreto de 15x20x40 cm y mortero de proporción 1:2:7 (cemento Portland: cal: arena) por ser representativo en la ciudad y considerado el de menor resistencia. En este caso, los especímenes ensayados fueron de 1.2 x 1.2 m de longitud y el mortero se colocó únicamente en las paredes exteriores de los bloques como se hace tradicionalmente en Mérida (Figura 6). La variable considerada por Fernández et al. fue la resistencia a compresión de los bloques. Se realizaron pruebas preliminares con dos grupos de especímenes, el primer grupo se construyó con bloques de resistencia a compresión de más de 65

kg/cm² (alta), mientras que el segundo grupo se construyó con bloques de resistencia a compresión de menos de 50 kg/cm² (baja). Posteriormente se elaboraron los especímenes finales clasificados en tres grupos; el primero de ellos con bloques de resistencia a la compresión alta, mientras que el segundo y tercero se elaboraron con bloques de resistencia media (entre 50 y 65 kg/cm²).

Figura 6

Vista de ensaye a compresión diagonal de la mampostería

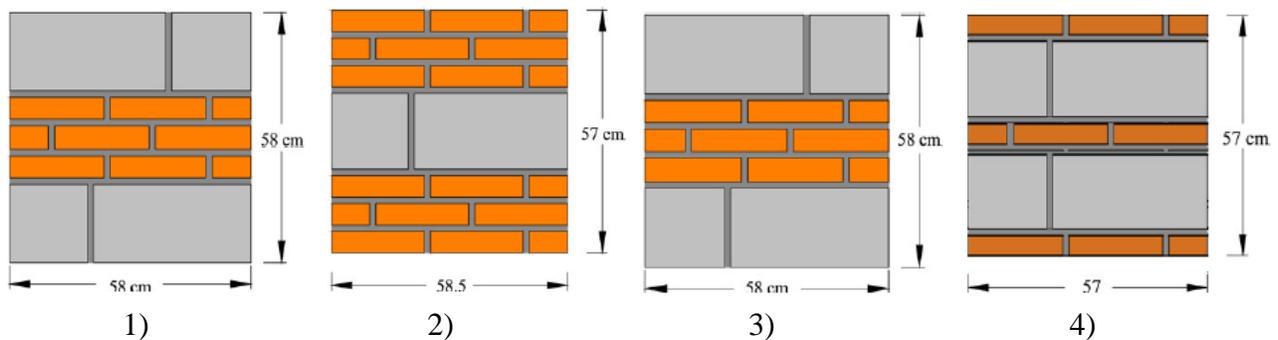


Nota. Fuente: Fernández et al. (2009, p.44).

Los resultados obtenidos de la investigación de Fernández et al. señalan fallas en las juntas por tensión diagonal y por deslizamiento, lo cual es entendible por el tipo de unión entre piezas. De igual manera, los valores registrados para la resistencia a compresión diagonal oscilaron entre 1.83 y 3.43 kg/cm², por lo que finalmente y con base en un criterio muy conservador, Fernández et al. propusieron un valor de 1.80 kg/cm². Dicho valor corresponde al 5% percentil de los valores reportados y al considerar conservadoramente el valor de 0.20 para el coeficiente de variación. Todo esto considerando que los valores de la resistencia a compresión diagonal se ajustan a una distribución normal.

La investigación desarrollada por Tena et al. (2009), se enfoca en el estudio de muros denominados como de mampostería combinada (bloques de concreto y ladrillos); sin profundizar tanto en el tema y de acuerdo a los objetivos de esta investigación, se retomó únicamente lo referente a los ensayos a compresión diagonal. En este sentido, Tena et al. retoman las NTCM en su versión del 2004 para el desarrollo de su programa experimental. A diferencia de las investigaciones de Fernández et al. (2009) y Elvira (2020), los autores, además de considerar dos variables de mortero (Tipo I y no estructural), propusieron dos arreglos distintos para el acomodo de las piezas (Figura 7), obteniendo resultados variados.

Figura 7
Muretes de mampostería combinada con diferentes arreglos



Nota. Fuente: Tena et al. (2009, p.244).

De acuerdo a la clasificación asignada por los autores, los arreglos 1 y 2 fueron elaborados con mortero tipo I, mientras que los arreglos 3 y 4 se elaboraron con mortero no estructural. En este caso, a pesar de que entre los arreglos 1 y 2 se encontraron variaciones en cuanto a los tipos de fallas presentados, no se apreciaron diferencias significativas al obtener el módulo de cortante. El arreglo 1 fue el que arrojó los resultados más bajos, lo cual está ligado al acomodo de las piezas. Esto provocó el tipo de falla predominante por deslizamiento en las juntas. Caso contrario a los muretes elaborados de acuerdo al arreglo 2, en los que la falla ocurrida fue la de tensión diagonal.

Finalmente, para los arreglos 3 y 4 con mortero no estructural, no se apreció un tipo de falla predominante, ya que se registraron para ambos casos los dos tipos de falla mencionados. Por otra parte, la diferencia más notoria se observa entre los módulos de cortante, toda vez que se presentó una diferencia del 35%, con los valores más bajos reportados de los ensayos de muretes construidos acorde al arreglo 4.

De todo lo anterior, se tiene claro que lo realizado por Fernández et al. (2009) es lo que más se apega a la presente investigación, no únicamente por haberse realizado con muretes de BHC, sino desde sus fundamentos. Asimismo, resulta evidente lo importante de apearse estrictamente a las especificaciones de la norma y controlar en lo posible cada variable para mantener la homogeneidad en todos los especímenes y la obtención de datos fiables.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2. Metodología

Cada disciplina plantea métodos propios para afrontar el proceso de investigación de un modo específico y, en el caso particular de la investigación en la disciplina de la Ingeniería Civil, se tiene claro que es necesario seguir un proceso metodológico simple y riguroso que encamine la investigación hacia la obtención de los mejores resultados (Huapaya y del Valle, 2018).

Siendo así, se retoman textos especializados en el tema como los publicados por Huapaya y del Valle (2018), K. Hudgikar (2021) y Borja S. (2012), con base en los cuales se desarrolla la metodología descrita en esta sección.

2.1 Recopilación de Datos

La naturaleza de la investigación abordada en el presente documento se relaciona directamente con el enfoque cuantitativo. Es entonces que, bajo el método científico, se tienen una serie de procedimientos que deben seguirse rigurosamente hasta culminar la investigación. En lo que respecta a la recopilación de datos, se han considerado diferentes técnicas de investigación. En específico se trata de la investigación documental y la investigación experimental.

Sin embargo, en el marco del análisis de resultados y formulación de conclusiones se considera la aplicación de técnicas cualitativas que permitan enriquecer a la propia investigación mediante la recopilación de datos descriptivos y aportar elementos de peso para la validación de los resultados obtenidos de la experimentación.

Además del programa experimental a desarrollar, inicialmente se había considerado dentro de los objetivos y como parte de la triangulación de métodos el modelado numérico y la simulación en 3D mediante el uso de software especializado para emular la experimentación en laboratorio y analizar el comportamiento de los especímenes. Sin embargo, una de las limitaciones para esta

investigación es el tiempo establecido para su realización, por lo tanto, se ha optado por prescindir de esta parte de la investigación y retomarla en el futuro.

2.2 Investigación Documental

Para el desarrollo de esta tesis, como se ha mencionado antes, se ha considerado la técnica de investigación documental reconociendo la importancia de conocer el estado del arte vigente.

Se aplicó la investigación de antecedentes mediante la consulta de diversas fuentes de información considerando que éstas deben proceder de fuentes académicas reconocidas o de instituciones de conocido prestigio en el ámbito científico. Además, de que, en la medida de lo posible, debe ser la información más actualizada y preferentemente hay que remontarse a la fuente de información primaria, y no a la cita de una cita (Huapaya y del Valle, 2018).

Si bien es cierto que Huapaya y del Valle consideran que la información debe ser la más actualizada, las fuentes relevantes y útiles no necesariamente tienen que serlo, lo cual aplica perfectamente al tema de investigación, pues de los estudios valiosos y pioneros están los realizados en la década de los 70's por el Dr. Meli Piralla. Las fuentes consultadas en este proceso son principalmente artículos técnicos, tesis publicadas y la normativa vigente que describe detalladamente el proceso a seguir para llevar a cabo la investigación experimental, de la cual se obtendrán datos para su análisis estadístico.

A su vez, la parte cualitativa de la investigación se centra puntualmente en comprender el comportamiento de los especímenes en estudio al ser sometidos a la experimentación, obteniendo la información pertinente a través de la observación (por ejemplo, lo referente a los modos de falla).

2.3 Programa Experimental

La idea inicial que da origen a la investigación ha sido la determinación de la resistencia a compresión diagonal de la mampostería construida con bloques huecos de concreto, fabricados en una localidad específica.

Como se ha mencionado, ésta tesis es la segunda etapa de una investigación integral enfocada en la determinación de las propiedades geométricas, físicas y mecánicas de la mampostería formada por bloques huecos de concreto, fabricados en el municipio de Larráinzar, Chiapas, bajo la dirección del director de esta tesis. Los resultados de la primera etapa se reportan con detalle en Gómez y Chanona (2023), por lo que existen datos relevantes reportados en este documento que se extraen de esa fuente.

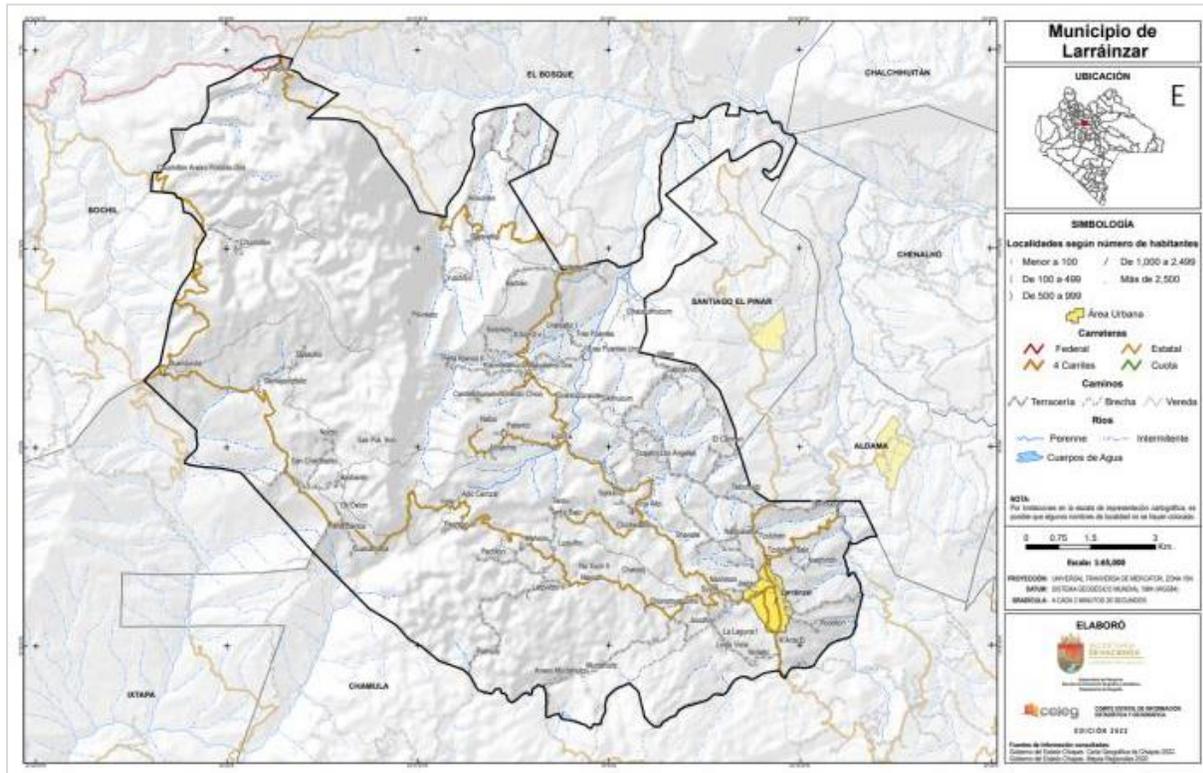
A fin de llevar a cabo la parte experimental, se han seleccionado las normativas mexicanas referentes al tema de investigación. Para el caso específico de la elaboración y ensaye de los muretes de mampostería a base de BHC, se han seguido todos los procedimientos y consideraciones establecidos en la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE-2010 (ONNCCE C-464, 2011). Con base en dichos procedimientos, se retoma lo siguiente.

2.3.1 Materiales

Considerando que de acuerdo con lo expresado en la NMX-C-464-ONNCCE-2010, “la muestra es la parte representativa del material tomada aleatoriamente de un producto en cantidad suficiente para fabricar una o varias probetas” (ONNCCE C-464, 2011, p.4), es necesario manifestar que el producto en cuestión son los bloques huecos de concreto (BHC), fabricados en el municipio de Larráinzar, Chiapas (Figura 8) y el mortero de pegue.

Los BHC estudiados tienen las siguientes dimensiones: 15x20x40 cm (ancho, altura, longitud), ya que de acuerdo con González (2006) (como se citó en Fernández et al., 2009); éste es comúnmente empleado en la construcción de muros estructurales en edificaciones.

Figura 8
Mapa de la delimitación territorial de municipio de Larráinzar, Chiapas con simbología.



Nota. Fuente: (https://www.ceieg.chiapas.gob.mx/productos/files/MAPASMUNDC/Base_Larrainzar.pdf).

El muestreo fue realizado durante la primera etapa de la investigación. Las técnicas empleadas por Gómez y Chanona (2023, p. 30) en este proceso fueron la visita de campo y el sondeo realizado en septiembre de 2022, con base en lo cual pudieron identificarse 10 proveedores de BHC en la zona, reportados por los autores de referencia. Como se aprecia en la Figura 9, las

ubicaciones de estos proveedores se distribuyen principalmente a las afueras de la cabecera municipal. Los datos de a ubicación geográfica de los proveedores se reproducen en la Tabla 1.

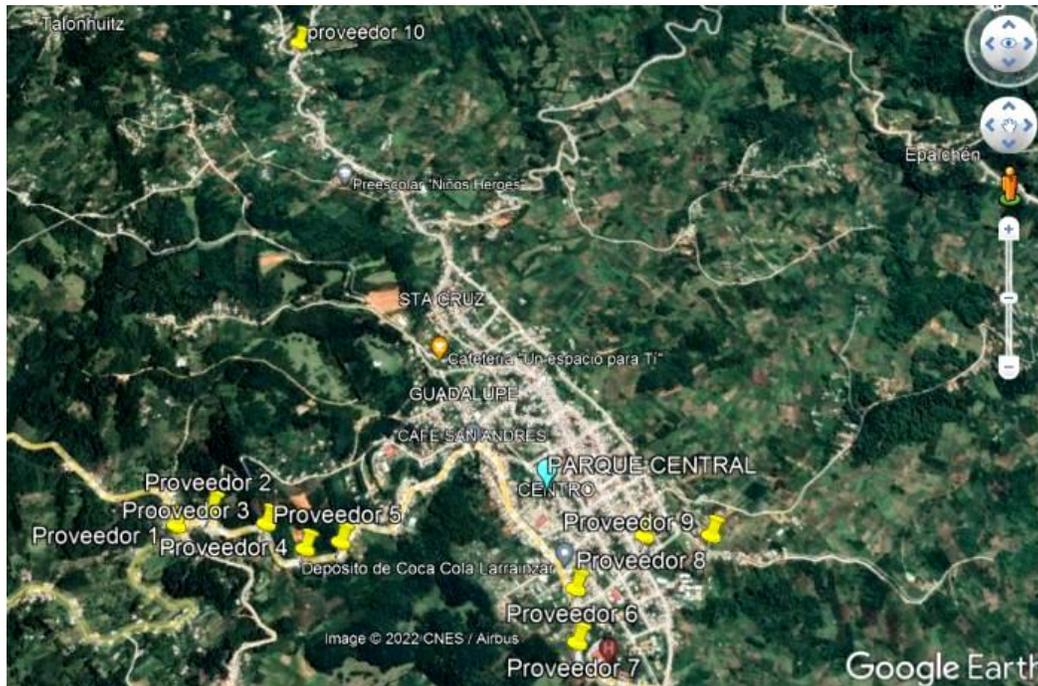
Tabla 1

Ubicación de los proveedores		
Proveedor	Ubicación Coordenadas	
	Latitud	Longitud
1	16 °53'9.11"N	92°43'35.62"O
2	16 °53'9.77"N	92°43'31.42"O
3	16 °53'6.64"N	92°43'25.83"O
4	16°53'2.74"N	92°43'22.31"O
5	16 °53'2.34"N	92°43'18.27"O
6	16 °52'50.40"N	92°42'54.96"O
7	16 °52'45.16"N	92°42'56.67"O
8	16 °52'53.61"N	92°42'45.73"O
9	16 °52'51.61"N	92°42'38.81"O
10	16°54'5.95"N	92°43'6.39"O

Nota. Fuente: (Gómez y Chanona, 2023, p. 30).

Como complemento al estudio de las piezas de BHC, en la primera etapa de la investigación se caracterizó el mortero de pegue. Para tal fin se consideraron muestras recolectadas directamente en campo y fabricadas en laboratorio, donde la proporción usada típicamente en la región es de 1:3 (cemento Portland: arena). La recolección de muestras en campo se realizó durante la visita de obra del día 26 de octubre del año 2022 en un proyecto de vivienda, tipo cuarto habitación (Figura 10) a cargo de Obras Públicas del H. ayuntamiento del municipio de Larráinzar (Gómez y Chanona, 2023). Conforme a los resultados de resistencia obtenidos, según la NTCM-2020, el mortero de pegue puede clasificarse como tipo I, tal y como lo exponen Gómez y Chanona (2023, p. 70).

Figura 9
Distribución de proveedores de BHC en el municipio de Larráinzar



Nota. Fuente: (Gómez y Chanona, 2023, p. 31).

2.3.1.1 Selección de Proveedores.

Con la finalidad de reconocer los tipos de falla, la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería en cuestión, se emplearon las piezas de todos los proveedores con las características presentadas en la Tabla 2, tal y como se realizó en los estudios enfocados en la determinación de propiedades geométricas, físicas y mecánicas (resistencia a compresión de piezas individuales y de pilas) desarrollados en la primera etapa de esta investigación.

Figura 10
Proyecto de casa habitación realizada en el municipio de Larráinzar



Nota. Fuente: (Gómez y Chanona, 2023, p. 69).

Tabla 2

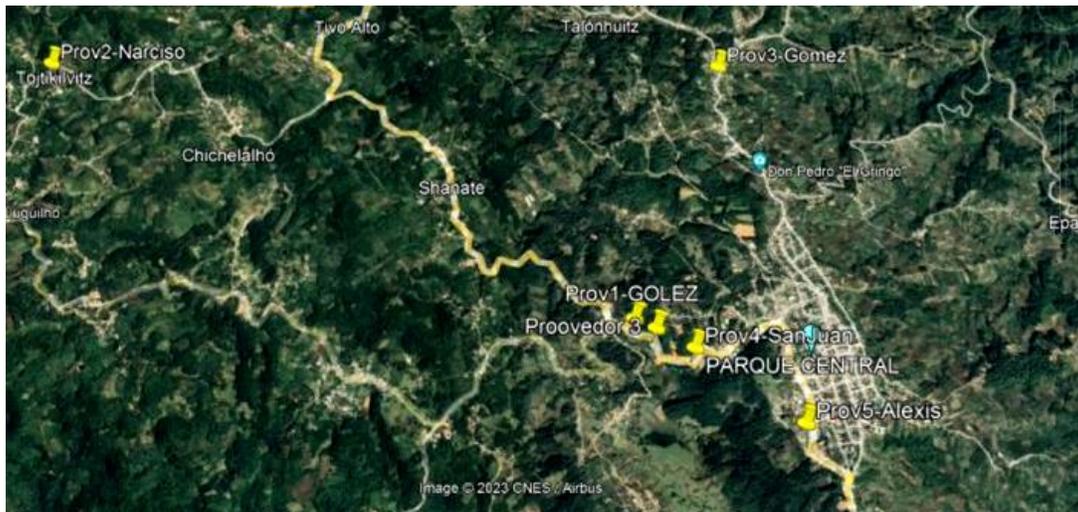
Características de los proveedores seleccionados				
Proveedor	Nombres	Ubicación Coordenadas		Numero de especímenes
		Latitud	Longitud	
L1-P2	Golez	16°53'8.62"N	92°43'30.29"O	40
L2-P9	Narciso	16°54'8.03"N	92°45'38.77"O	40
L3-P10	Gómez	16°54'4.93"N	92°43'7.33"O	40
L4-P6	San Juan	16°53'2.36"N	92°43'18.13"O	40
L5-P7	Alexis	16°52'46.78"N	92°42'57.38"O	40

Nota. Fuente: (Gómez y Chanona, 2023, p. 41).

De acuerdo con lo presentado por Gómez y Chanona (2023), los proveedores se seleccionaron aleatoriamente con base en su ubicación geográfica. Se procuró utilizar las piezas de los proveedores más alejados entre sí para abarcar un área mayor dentro de la zona de estudio. Asimismo, los autores hacen referencia a ciertas condicionantes que influyeron directamente en la cantidad de proveedores seleccionados y en la manera de realizar el muestreo, las cuales se describen enseguida.

Acorde a la cantidad de pruebas a realizar, se determinó que cada lote se conformara por un total de 40 especímenes de BHC para realizar todos los ensayos requeridos en ambas etapas de esta investigación. Aunado a ello, se debió tomar en cuenta la capacidad del vehículo y la distancia considerable entre el municipio de Larráinzar y la Facultad de Ingeniería de la UNACH. Tomando en cuenta todos éstos factores, el muestreo y traslado de los lotes de los cinco proveedores seleccionados se realizó en dos fases. La primera fase se realizó el 11 de octubre del 2022, adquiriendo y trasladando un total de 160 piezas, correspondientes a cuatro lotes (Gómez y Chanona, 2023). En la Figura 11 se señalan las ubicaciones de los proveedores considerados para la primera fase.

Figura 11
Ubicación de proveedores para la primera fase



Nota. Fuente: (Gómez y Chanona, 2023, p. 42).

El 26 de octubre de 2022 se continuó con la segunda fase, en la que además de adquirir y transportar las 40 piezas del quinto y último lote, se recolectaron muestras de mortero de pegue (Figura 12). El quinto proveedor fue identificado por Gómez y Chanona (2023) como L5-P7 y su localización está indicada en la Tabla 2.

Figura 12

Transporte de bloques en la segunda etapa



Nota. Fuente: (Gómez y Chanona, 2023, p. 42).

2.3.1.2 Materiales Auxiliares.

Los materiales auxiliares considerados son exclusivamente para uso en el cabeceo de la superficie de contacto de las probetas a ensayar. Según la NMX-C-464-ONNCCE-2010, estos materiales son el yeso y el neopreno en forma de tira de 3mm de espesor con una dureza shore de 50 a 60 (ONNCCE, 2011).

2.3.2 Equipo

Los ensayos correspondientes se realizarán en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNACH, contando con el apoyo del personal técnico para garantizar el uso correcto de la maquina universal. La cual es de la marca Forney, modelo LT-1150 con capacidad de 150 Ton. Además, esta cuenta con la adaptación del sistema “test pilot de

Forney” integrado para la adquisición de los datos de carga aplicada (Figura 13). es importante destacar que la maquina universal cuenta con una calibración reciente, realizada el 16 de agosto de 2023.

Figura 13

Máquina universal del laboratorio de la Facultad de Ingeniería - UNACH



Nota. Fuente: elaboración propia.

Se considera además el uso de un par de cabezales metálicos para distribuir la carga de compresión en las esquinas de los muretes (Figura 14), cuya longitud debe ser un sexto de la longitud del murete, con una tolerancia de 5% y abarcar todo su espesor; y finalmente, los dispositivos de medición de longitud con precisión mínima de 0.001 mm (ONNCCE, 2011, p.8).

Figura 14

Cabezales y ángulos utilizados para la realización de los ensayos de los muretes



Nota. Fuente: elaboración propia.

2.3.3 Método de Ensayo

La norma NMX-C-464-ONNCCE-2010 es bastante clara en cuanto a las generalidades y consideraciones a tener durante la elaboración, previo y durante el ensayo de las probetas. A manera de resumen, las probetas deben permanecer inmóviles por lo menos 7 días desde su elaboración, manteniéndose a una temperatura de $24^{\circ}\text{C} \pm 8^{\circ}\text{C}$ cuando menos 7 días antes de su ensayo y deben ensayarse a una edad de $28 \text{ días} \pm 24 \text{ h}$ con una velocidad uniforme y continua entre $1 \text{ kg/cm}^2/\text{min}$ a $2 \text{ kg/cm}^2/\text{min}$ (ONNCCE, 2011, p.12). No se cumple con los tiempos de ensayo debido a retrasos involuntarios durante los preparativos de los ensayos, principalmente generados por falta de recursos y tiempo. Esto propició en un comienzo que la investigación se haya dividido en dos etapas.

En cuanto a la aceptación de la probeta, si ésta sufre fisuras o separaciones durante su manipulación deberá desecharse.

De igual manera, en el apartado 8.4 de la norma NMX-C-464-ONNCCE-2010 se explica detalladamente el método de ensayo para la determinación de la resistencia a compresión diagonal y del módulo de cortante en muretes, que a grandes rasgos indica lo siguiente. La norma indica que para ambos casos debe mantenerse un ambiente sin grandes cambios de temperatura y humedad para los ensayos realizados a un mínimo de 3 muretes con las mismas dimensiones y el mismo tipo de piezas, mortero y técnica de fabricación.

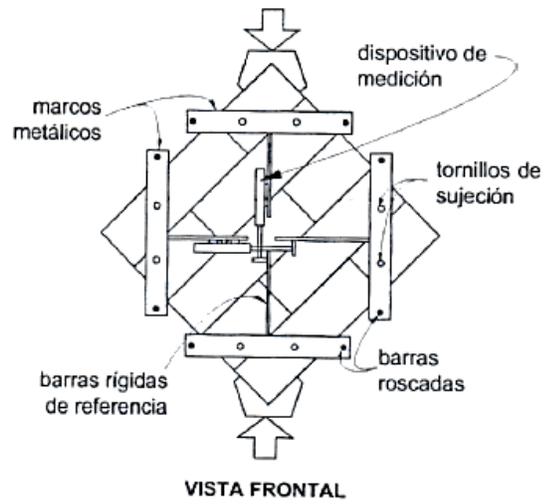
La normativa sugiere que las probetas deben colocarse cuidadosamente alineándoles junto con los cabezales al bloque de carga superior, para luego bajar controladamente la platina superior hasta que asiente suave y uniformemente sobre el cabezal. En el caso de la determinación de la resistencia a compresión diagonal bastara con registrar las cargas máximas, sin embargo, en el caso de los ensayos para el módulo de cortante debe instalarse el equipo de medición como se indica en la Figura 15.

Finalmente, tal y como lo expresa la NMX-C-464-ONNCCE-2010, deberán tomar las lecturas iniciales sin carga y aplicar dos o tres ciclos de precarga al 15% de la máxima esperada para detectar algún desperfecto y hacer las correcciones pertinentes. Si los valores son similares se procede al ensayo.

Para determinar el módulo de cortante se tomará un mínimo de 10 lecturas entre la carga inicial y el 50% de la carga máxima estimada de tal forma que mediante estas lecturas de carga y de desplazamiento (alargamiento y acortamiento) que se pueda definir, mediante interpolación o gráficamente, el esfuerzo cortante (τ_1) correspondiente a una deformación angular de 0.00005, así como la deformación angular correspondiente al 40% del esfuerzo cortante máximo (τ_2). Si se desea obtener la curva esfuerzo-deformación angular se debe tomar una mayor cantidad de lecturas. No se debe interrumpir la carga en ningún momento (ONNCCE, 2011, p.13).

Figura 15

Dispositivo para medir el acortamiento y el alargamiento de las diagonales



Nota. Fuente: (ONNCCE, 2011, p.9)

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. Resultados y Discusión

En este capítulo se presentan los resultados de los ensayos a compresión diagonal de 15 muretes elaborados con BHC, fabricados en el municipio de Larráinzar, Chiapas. Acorde con la metodología empleada en esta tesis, los muretes se elaboraron con piezas obtenidas de cinco proveedores, siguiendo las especificaciones de las NTCM-2023. Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Resistencia de Materiales y Tecnología del Concreto de la Facultad de Ingeniería C-I de la UNACH, siguiendo los métodos de ensayo indicados en la NMX-C-464-ONNCCE-2010.

De acuerdo con los objetivos planteados en esta investigación, se reportan las cargas máximas soportadas por los prismas de mampostería de BHC ensayados en compresión diagonal, así como también las características de los modos de falla presentados. Con base en lo anterior se determinó la resistencia a compresión diagonal. En lo referente al módulo de cortante, debido a la carencia de instrumentación, se hizo un arreglo geométrico de referencia y se documentó el ensaye completo de cada murete mediante video de alta calidad (en las dos caras), para posteriormente determinar los desplazamientos sobre las diagonales en compresión y tensión mediante técnicas ópticas. Finalmente, del estudio estadístico, se determina el valor de diseño para la resistencia a compresión diagonal de la mampostería en estudio.

3.1 Ensaye de Muretes a Compresión Diagonal

Se elaboraron tres muretes de cada proveedor, teniendo un total de quince. Cada probeta de mampostería fue construida con tres hiladas de pieza y media de BHC de 15x20x40 cm, y dos juntas intermedias de mortero tipo I de proporción 1:3 (cemento Portland: arena) colocado en toda la superficie de contacto de cada pieza, siguiendo las especificaciones de las NTCM-2023.

Los muretes fueron elaborados por un albañil experimentado a las afueras de las instalaciones del laboratorio de la FI-UNACH, respetando las prácticas empleadas en el municipio de Larráinzar, en donde permanecieron por más de 28 días hasta el momento de ser ensayados (Figura 16).

Figura 16
Elaboración de muretes y pilas de BHC



a) Muretes



b) Pilas

Nota. Fuente: Cortesía del Dr. Eber Godínez.

Tabla 3

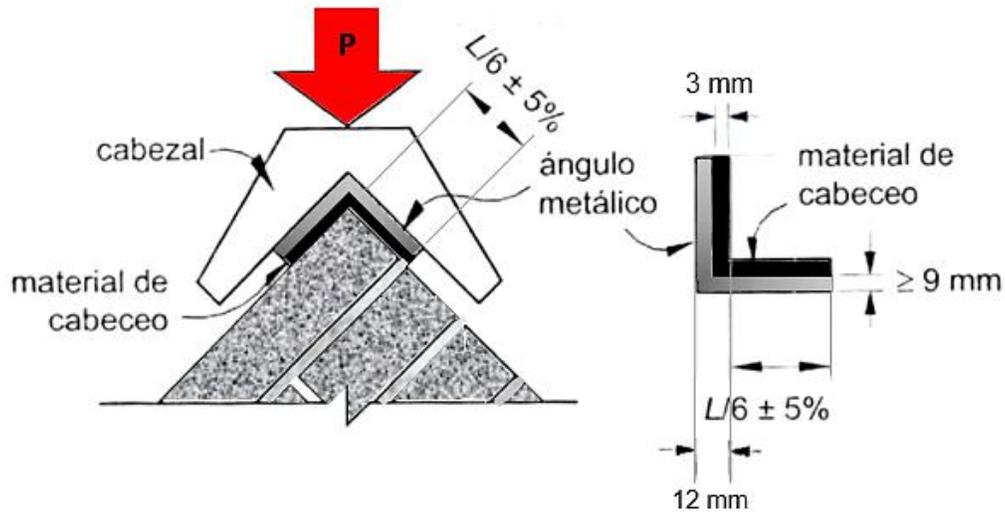
Proveedor	Dimensiones de Muretes (cm)			
	B1	B2	H1	H2
M#1 L3-P10	61.3	61.2	61.8	62
M#2 L3-P10	61	61.1	61.6	61.7
M#3 L3-P10	61.3	61.3	61.8	62
M#1 L1-P2	62	61.5	61.8	61.9
M#2 L1-P2	61.3	61.3	61.7	61.4
M#3 L1-P2	61.3	61	61	62
M#1 L4-P6	62	61.4	60.9	60.8
M#2 L4-P6	61.6	61.6	61.9	61.5
M#3 L4-P6	61.4	61.5	61	61.5
M#1 L2-P9	62	61.7	61.7	62.7
M#2 L2-P9	61.9	61.3	62.7	62
M#3 L2-P9	61.7	61.3	61.4	62.7
M#1 L5-P7	61.8	61.2	62	62.8
M#2 L5-P7	61.7	61.2	61.8	61.7
M#3 L5-P7	61.2	60.8	61.8	62.2
<i>Promedio</i>		61.4		61.8

Nota. Fuente: elaboración propia.

En primera instancia, se determinó el ajuste requerido para la superficie de contacto de los cabezales de distribución de carga. Con base en los valores presentados en la Tabla 3, se estableció el valor promedio de 61.6 cm para la longitud por lado (L) de los muretes. Dicho valor es necesario para realizar el ajuste mediante la colocación de ángulos metálicos de longitud y espesor determinados, de acuerdo con lo indicado en el apartado 5.4 de la NMX-C-464-ONNCCE-2010 (Figura 17).

Figura 17

Colocación de ángulos de acero cuando las alas de los cabezales son más largas que la longitud de apoyo

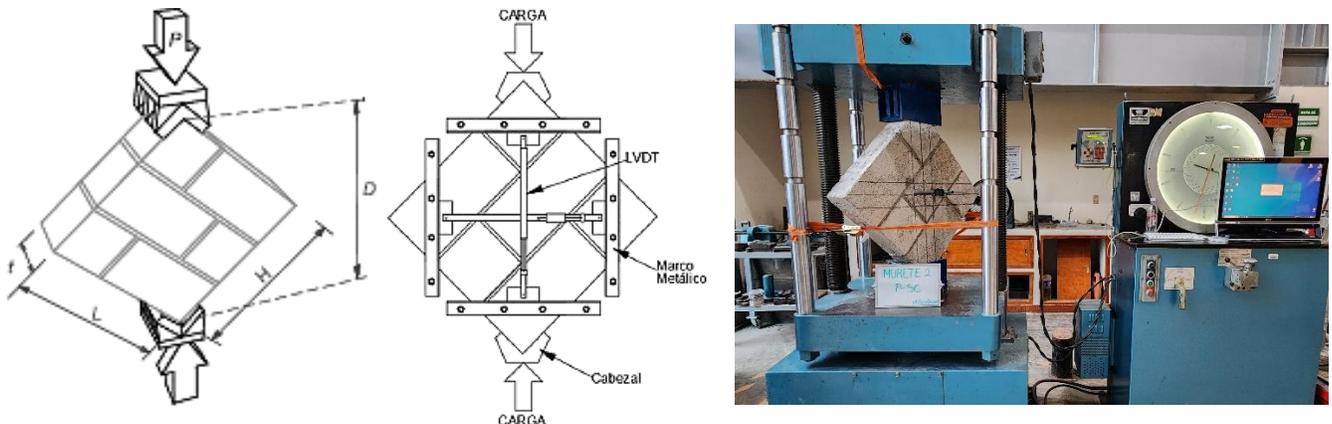


Nota. Fuente: adaptación de la figura 3 de la NMX-C-464-ONNCCE-2010 (2011, p.8.).

Los muretes se construyeron con tres hiladas de altura y pieza y media de base (especímenes casi cuadrados) y se ensayaron utilizando un equipo de aplicación de carga controlada a través de una de sus diagonales (Figura 18). El material de cabeceo usado fue el neopreno, cuyas características se especifican en la Figura 19.

Figura 18

Esquema de ensaye e instrumentación de murete y vista panorámica del ensaye realizado



Nota. Fuente: esquema obtenido de Elvira (2020, p.21.); fotografía elaboración propia.

Figura 19

Especificaciones del hule neopreno empleado como cabeceo en los ensayos de muretes

PRODUCTO: HULE NEOPRENO COMERCIAL.**PRESENTACION: 40 METROS X 1/8" DE ESPESOR X 1.0 MT DE ANCHO.**

ACABADO: LISO.

MARCA: PHASA.

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD: **APROBADO.**INSPECCIÓN MATERIA PRIMA: **APROBADO.**

EL PRODUCTO ES SOMETIDO Y CUMPLE CON LAS SIGUIENTES PRUEBAS Y ESTÁNDARES DE ACEPTACIÓN DE ACUERDO A LAS NORMAS ESTABLECIDAS:

Propiedad	Método	Medición
RESISTENCIA A LA TENSIÓN	ASTM-D-412	4Mpa (580 PSI)
RESISTENCIA A LA ELONGACIÓN	ASTM-D-412	300%
DUREZA	ASTM-D-2240	65°SHORE A +/-5
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	ASTM-D-573	DE -25°C(-13°F) A 80°C (172°F)
RESISTENCIA AL DESGARRO	ASTM-D-624	15 KG/CM
PESO ESPECIFICO		1.5 g / cm ³
INTEMPERIE		BUENO
DERIVADOS DEL PETROLEO		REGULAR
ACIDOS DILUIDOS		REGULAR
ACIDOS CONCENTRADOS		NO RECOMENDABLE

Nota. Fuente: obtenida de <https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-1413036690-placa-hule-neopreno-comercial-sbr-33cm-x-1m-x-18-espesor>.

3.1.1 Resistencia a compresión diagonal

Los resultados obtenidos muestran una variación significativa en la resistencia en condición de carga sobre la diagonal en compresión entre los muretes de los cinco diferentes proveedores de piezas de BHC seleccionados, lo cual indica la alta variabilidad en calidad de piezas, así como diferencias en el control de calidad en su proceso de fabricación. En la Tabla 4 se presentan las cargas máximas ($P_{Máx}$) soportadas por cada uno de los 15 muretes ensayados, así como la desviación estándar ($\sigma_{P_{Máx}}$) de las mismas y los valores promedio calculados por proveedor ($\overline{P_{Máx}}$). Como se comentó anteriormente, todos los muretes fueron construidos empleando mortero tipo 1.

Tabla 4

Cargas máximas soportadas a compresión diagonal en muretes de BHC					
Murete	$P_{Máx}$ (kg)	$\overline{P}_{Máx}$ (kg)	$\sigma_{PMáx}$	$\overline{P}_{Máx}$ (kg)	$\sigma_{PMáx}$
M#1 L3-P10	7933	7410.67	1080.72	6150.67	1396.76
M#2 L3-P10	8131				
M#3 L3-P10	6168				
M#1 L1-P2	5095	5138.67	1228.08		
M#2 L1-P2	6388				
M#3 L1-P2	3933				
M#1 L4-P6	8083	6723.00	1404.98		
M#2 L4-P6	6809				
M#3 L4-P6	5277				
M#1 L2-P9	4776	5444.33	1416.18		
M#2 L2-P9	7071				
M#3 L2-P9	4486				
M#1 L5-P7	4478	6036.67	1350.56		
M#2 L5-P7	6860				
M#3 L5-P7	6772				

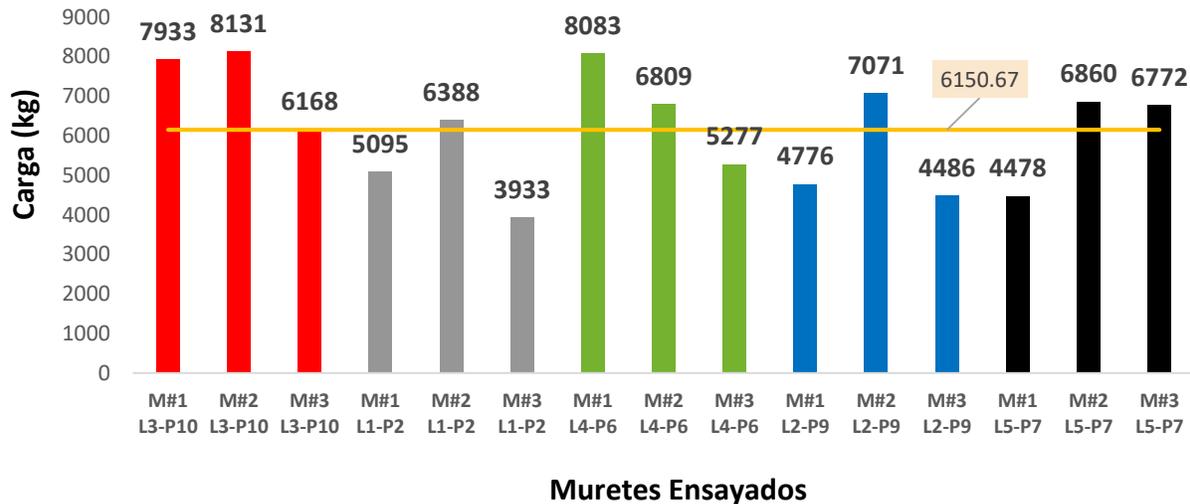
Nota. Fuente: elaboración propia.

De la Tabla 4, se tiene que los muretes construidos con las piezas del lote 3 (L3) provistas por el proveedor 10 (P10) tuvieron los mejores resultados al registrar la carga máxima promedio más elevada y tener la menor desviación estándar. Por otra parte, el valor promedio de carga máxima soportada para el universo de la muestra es de 6150.67 kg. Es importante hacer notar que al considerar la información previa (Gómez y Chanona, 2023), para todas las piezas individuales ensayadas a compresión pura, se obtuvieron valores de resistencias mínimas de diseño (f'_p) y de la resistencia media (\bar{f}_p) por debajo de las establecidas en las NTCM-2023. Para mayor claridad de los resultados, en la Figura 20 se presentan de manera gráfica las cargas máximas de los 15 muretes ensayados, clasificados por proveedor. Como referencia, se muestra también el valor de carga máxima promedio mediante una línea horizontal. En el Anexo 1 se presenta detalladamente

los gráficos de las cargas máximas por cada proveedor, así como la información de cada ensaye realizado.

Figura 20

Gráfica de las cargas máximas resistidas por los muretes sujetos a compresión diagonal



Nota. Fuente: elaboración propia.

Retomando los valores de la Tabla 3, se calcularon las dimensiones de las diagonales promedio (L_c) de cada murete, y con los espesores promedio por proveedor reportados por Gómez y Chanona (2023) se calcularon las resistencias a compresión diagonal (v_m) y las desviaciones estándar por cada proveedor (σ_{v_m}), las cuales se muestran en la Tabla 5. De los datos presentados se observa que hay variaciones considerables en las resistencias de los 15 muretes; sin embargo, para los valores promedio por proveedor la dispersión es menor. Los resultados se presentan de manera gráfica en la Figura 21.

Tabla 5

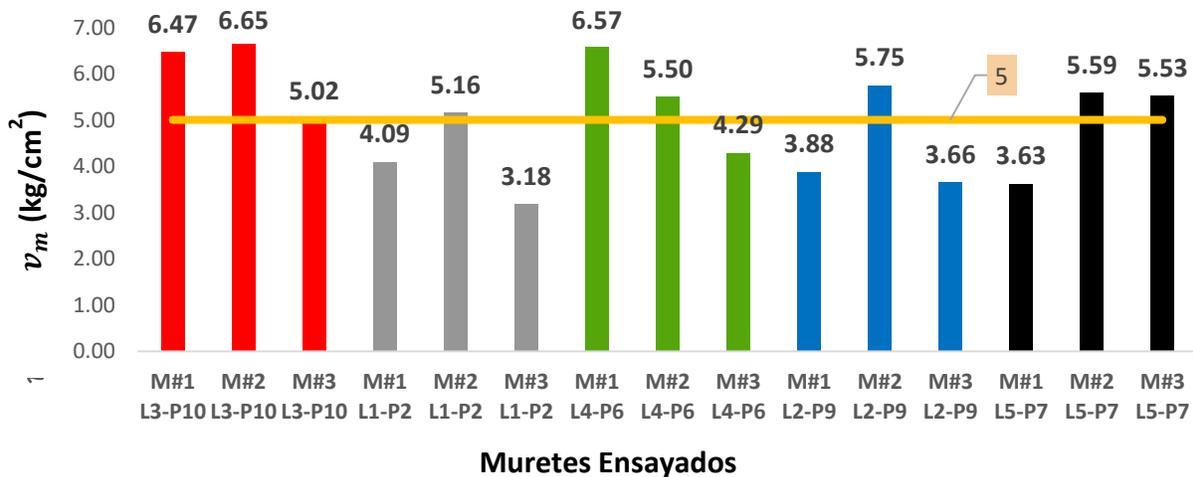
Resistencia a compresión diagonal en muretes de BHC						
Murete	$P_{M\acute{a}x}$ (kg)	L_c (cm)	t (cm)	v_m (kg/cm ²)	\bar{v}_m (kg/cm ²)	σ_{v_m} (kg/cm ²)
M#1 L3-P10	7933	87.08	14.09	6.47	6.05	0.89
M#2 L3-P10	8131	86.76	14.09	6.65		
M#3 L3-P10	6168	87.12	14.09	5.02		

M#1	L1-P2	5095	87.40	14.24	4.09		
M#2	L1-P2	6388	86.87	14.24	5.16	4.15	0.99
M#3	L1-P2	3933	86.73	14.24	3.18		
M#1	L4-P6	8083	86.66	14.19	6.57		
M#2	L4-P6	6809	87.19	14.19	5.50	5.45	1.14
M#3	L4-P6	5277	86.76	14.19	4.29		
M#1	L2-P9	4776	87.72	14.03	3.88		
M#2	L2-P9	7071	87.65	14.03	5.75	4.43	1.15
M#3	L2-P9	4486	87.37	14.03	3.66		
M#1	L5-P7	4478	87.61	14.09	3.63		
M#2	L5-P7	6860	87.12	14.09	5.59	4.91	1.11
M#3	L5-P7	6772	86.98	14.09	5.53		

Nota. Fuente: elaboración propia.

Figura 21

Gráfica de las resistencias a compresión diagonal, v_m , de muretes



Nota. Fuente: elaboración propia.

La resistencia a compresión diagonal promedio ($\overline{v_m}$) y la resistencia para fines de diseño (v_m^* o v_m') en muretes, calculada considerando un coeficiente de variación $c_v = 0.23$ ($c_v \geq 0.2$ conforme a las NTCM-2023), se presentan en la Tabla 6. Los promedios de resistencia por proveedor varían entre 4.15 kg/cm² y 6.05 kg/cm². El valor promedio obtenido para las 15 probetas

ensayadas es de 5 kg/cm^2 (0.49 MPa) con un coeficiente de variación de 0.23. Por lo tanto, la resistencia de diseño calculada, v_m^* , es de 3.18 kg/cm^2 (0.31 MPa).

Tabla 6

Resistencia a compresión diagonal con fines de diseño en muretes de BHC						
Proveedor	$\overline{P}_{Máx}$ (kg)	\overline{v}_m (kg/cm ²)	\overline{v}_m (kg/cm ²)	σ_{v_m}	c_v	v_m^* (kg/cm ²)
L3-P10	7410.67	6.05				
L1-P2	5138.67	4.15				
L4-P6	6723.00	5.45	5.00	1.15	0.23	3.18
L2-P9	5444.33	4.43				
L5-P7	6036.67	4.91				

Nota. Fuente: elaboración propia.

3.1.2 Modos de falla

Respecto a los tipos de falla de muretes de mampostería sujetos a compresión diagonal, la NMX-C-464-ONNCCE-2010 considera cuatro tipos, de los cuales el ideal es por tensión diagonal. Los tipos de fallas restantes son por cortante, falla combinada (por cortante y tensión diagonal) y falla por aplastamiento de las esquinas, la cual, en caso de presentarse, debe ser descartada. En la Tabla 7 se enlistan los tipos de falla presentados en cada espécimen. La falla dominante fue la combinada (ver Figura 22-a), otros especímenes tuvieron una falla por cortante, donde se formaron grietas diagonales que atraviesan las juntas del espécimen (Figura 22-b) y solo en uno se presentó la falla por tensión diagonal (Figura 22-c).

Tabla 7

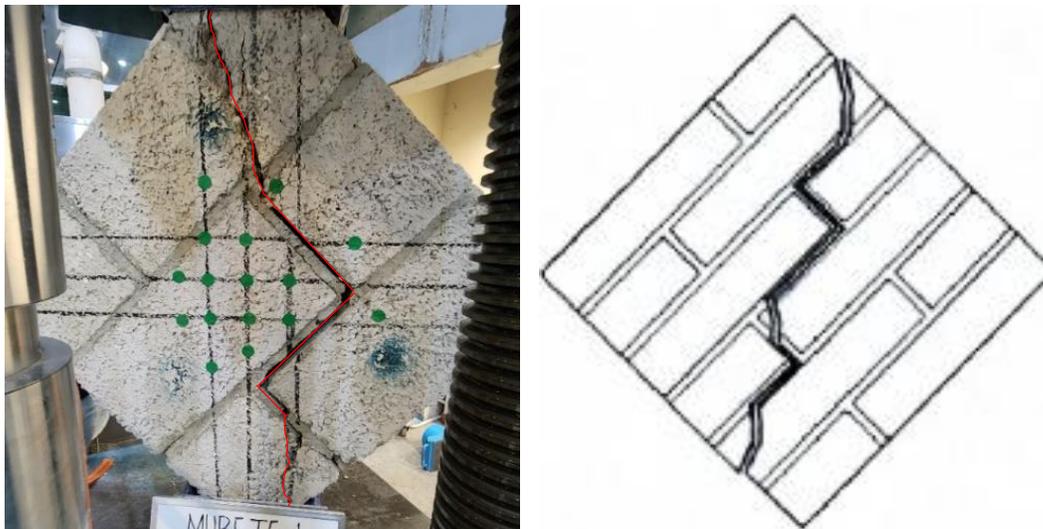
Tipos de falla ocurridos en muretes de mampostería de BHC y mortero Tipo I	
Murete	Tipo de Falla
M#1 L3-P10	Falla combinada
M#2 L3-P10	Falla combinada
M#3 L3-P10	Falla combinada

M#1 L1-P2	Falla por cortante
M#2 L1-P2	Falla combinada
M#3 L1-P2	Falla por cortante
M#1 L4-P6	Falla combinada
M#2 L4-P6	Falla combinada
M#3 L4-P6	Falla combinada
M#1 L2-P9	Falla combinada
M#2 L2-P9	Falla combinada
M#3 L2-P9	Falla combinada
M#1 L5-P7	Falla combinada
M#2 L5-P7	Falla combinada
M#3 L5-P7	Falla por tensión diagonal

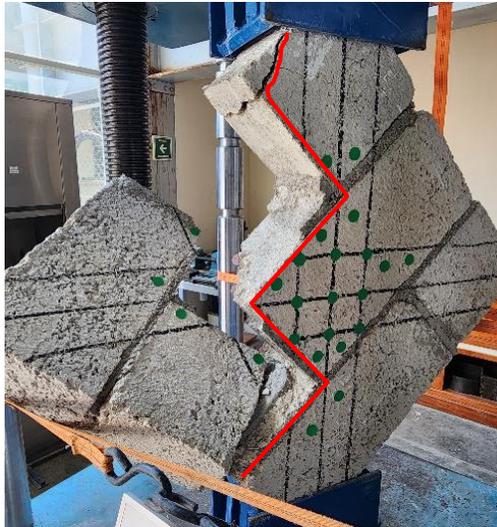
Nota. Fuente: elaboración propia.

Figura 22

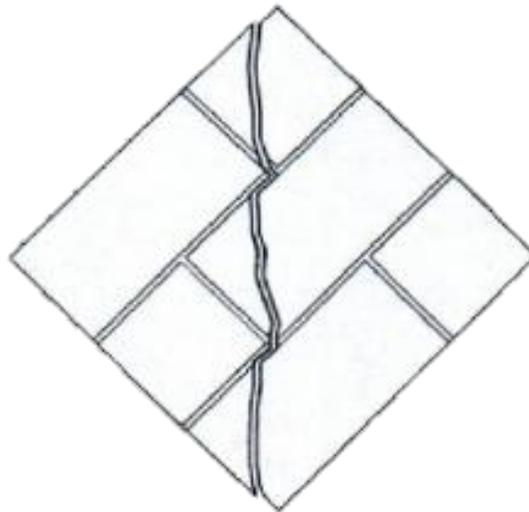
Detalle de los tipos de fallas presentadas en muretes



a) Falla combinada



b) Falla por cortante



c) Falla por tensión diagonal

Nota. Fuente: elaboración propia con la adaptación de esquemas tomados de NMX-C-464-ONNCCE-2010 (2011, p. 22).

3.2 Discusión

En este apartado se analizan los resultados experimentales de los quince muretes sometidos a compresión diagonal comparados con los valores de diseño indicados en las NTCM-2023. Se presenta una tabla comparativa indicando la diferencia existente entre el valor de diseño obtenido experimentalmente y los valores que se indican en la normativa de referencia. Los resultados son consistentes para una combinación de BHC y mortero Tipo I.

3.2.1 Interpretación de resultados

Los valores de resistencia a compresión diagonal, v_m , registrados en todos los muretes, varían de 3.18 a 6.65 kg/cm², y los valores promedio, $\overline{v_m}$, varían entre 4.15 y 6.05 kg/cm² (Tabla 5). Considerando un coeficiente de variación de 0.23 se determina un valor de $v_m^*=3.18$ kg/cm², por lo que con fines prácticos se propone un valor de diseño para la resistencia a compresión diagonal de la mampostería de $v_m^*=3.0$ kg/cm².

Como se observó en este estudio y en otros previos, a partir de los tipos de falla observados en los especímenes ensayados, se determinó que la resistencia a compresión diagonal de la mampostería depende en gran medida de la adherencia bloque-mortero, toda vez que en la mayoría de los casos se obtuvo una falla en las juntas.

En el apartado 2.8.5.4 de las NTCM-2023 se especifica que el módulo de elasticidad puede determinarse a partir de la resistencia a compresión de la mampostería. Gómez y Chanona (2023) determinaron el valor promedio de la resistencia a compresión, f'_m , mediante el ensaye de pilas de mampostería construidas con BHC y mortero Tipo I. Con base en esto, los valores del módulo de elasticidad por proveedores variaron de 17816 a 24784 kg/cm², con un valor promedio de 21736 kg/cm². En este trabajo, por las limitaciones ya comentadas, el módulo de rigidez a cortante de la mampostería se determinó a partir del módulo de elasticidad, de acuerdo con lo indicado en el

apartado 2.8.6.4.1 de las NTCM-2023. Los valores para el módulo de cortante variaron entre 3563.20 y 4956.80 kg/cm², con un valor promedio de 4347.20 kg/cm². Tanto los valores para módulo de elasticidad (E_m) como para módulo de cortante (G_m) de la mampostería se presentan en la Tabla 8. La relación entre los valores promedio de los módulos es de 0.2.

Tabla 8

Valores estimados para módulo de elasticidad y módulo de cortante a partir de f'_m				
Proveedor	f'_m (kg/cm ²)	$\sigma f'_m$ (kg/cm ²)	E_m (kg/cm ²)	G_m (kg/cm ²)
L3-P10	30.98	6.16499766	24784.00	4956.80
L1-P2	22.27	0.50378368	17816.00	3563.20
L4-P6	26.42	7.69017008	21136.00	4227.20
L2-P9	27.57	8.03130474	22056.00	4411.20
L5-P7	28.6	3.60047203	22880.00	4576.00
Promedio	27.17	5.2	21736.00	4347.20

Nota. Fuente: elaboración propia con los valores de f'_m y $\sigma f'_m$ tomados de Gómez y Chanona (2023, p.66) .

En la Tabla 9, se presentan a manera de comparación, los resultados de la resistencia de diseño para compresión diagonal empleando el coeficiente de variación calculado, que resultó ser de 0.23, y el indicado en las NTCM-2023, con un valor de 0.20. Cabe señalar que las combinaciones de mortero Tipo I y los BHC cumplen la resistencia de diseño establecida en las NTCM-2023.

Tabla 9

Resistencia a compresión diagonal en muretes con mortero Tipo I			
\bar{v}_m kg/cm ² (MPa)	C_v	v_m^* con C_v calculado kg/cm ² (MPa)	v_m^* con $C_v= 0.20$ kg/cm ² (MPa)
5 (0.49)	0.23	3.18 (0.312)	3.33 (0.327)

Nota. Fuente: elaboración propia.

3.2.2 Limitaciones y problemas

Durante el desarrollo de esta investigación se presentaron limitantes que influyeron directamente en el desarrollo de la misma, ya que, debido a complicaciones técnicas y falta de

equipo para la instrumentación, los 15 muretes fueron ensayados varios meses después a los 28 días transcurridos desde su construcción, sufriendo de una exposición prolongada a temperaturas elevadas previo a su ensaye. En particular, se carece de equipo para la medición de los desplazamientos sobre las diagonales en compresión y tensión en los muretes al someterlos a compresión diagonal.

Por lo anterior, la realización ensayes en compresión diagonal de muretes en la Facultad de Ingeniería de la UNACH no son usuales (son los primeros en realizarse en al menos una década), por lo que fue imperioso adquirir equipo, los cabezales, ángulos y herramientas complementarios, así como adecuar lo existente para solventar las necesidades de la propia investigación. Aun cuando se consideraron alternativas, las soluciones esperadas no garantizaban éxito alguno y la importación de refacciones excedía los tiempos disponibles.

En términos generales, tal como fue planteado en la hipótesis, se obtuvieron datos, con base experimental, a partir de los cuales se ha propuesto una resistencia de diseño en compresión diagonal para muros de mampostería de BHC fabricados en Larráinzar, Chiapas, útil para todas las regiones en que se construye con materiales provenientes de esa localidad.

Estos hallazgos son consistentes con las especificaciones de las NTCM-2023 y la NMX-ONNCCE-464-2010, que establece requisitos mínimos y definen los procedimientos a seguir para validar los datos obtenidos.

3.2.3 Recomendaciones y futuras investigaciones

Una vez que se cuenta con mayor experiencia y equipo, al haber encontrado un sistema funcional para el desarrollo de este tipo de experimentos, se plantea replicar el proceso con otro tipo de piezas o bien, de una procedencia diferente. De hecho, el director de esta tesis ya está

desarrollando un nuevo estudio usando piezas comúnmente empleadas en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Además, con base en los resultados obtenidos, se destaca la relevancia que tiene la influencia de la calidad de la unión entre las piezas que integran la mampostería sometida a compresión diagonal. Subrayando la importancia de la adherencia entre el bloque y el mortero, se encontró que la resistencia a compresión diagonal de los muretes está influenciada directamente por la adherencia en las juntas. Los muretes que presentaron uniones más débiles exhibieron una menor resistencia y, por el contrario, garantizar mejores uniones brindará la capacidad al murete de resistir cargas diagonales mayores. Del mismo modo, al tratarse de piezas huecas y colocar mortero de pegue sobre toda la superficie de las mismas, se forma una llave de corte (Figura 23) que mantiene a las piezas verticalmente en su lugar al aplicar carga diagonalmente, lo cual brindó buenos resultados.

Basado en los hallazgos obtenidos, se sugiere para futuras investigaciones, realizarse estudios adicionales sobre la influencia de la adherencia de los bloques con diferentes tipos de mortero con el entendido que también pueden tener injerencia en la durabilidad y vida útil de la estructura.

Figura 23
Detalle de las llaves de corte generadas en la mampostería



Nota. Fuente: elaboración propia

Finalmente, en cuanto a la medición de los desplazamientos durante las pruebas de los muretes sometidos a compresión diagonal, como parte de este estudio se ha planteado la implementación de la medición óptica basada en un proceso de descomposición de videos de alta calidad en cada uno de los fotogramas por segundo que lo integran. Posteriormente, se hace el análisis de la secuencia de imágenes y se procesa la información mediante gráficos. Sin embargo, por el tiempo requerido de dicho proceso y las limitantes del mismo en el desarrollo de esta tesis, los resultados no formaran parte de este trabajo de investigación, aunque se están llevando a cabo.

Conclusiones

Durante los meses de febrero y marzo del 2024 se realizaron, en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería C-I de la UNACH, los ensayos controlados de los muretes elaborados con BHC, fabricados en el municipio de Larráinzar, Chiapas. Se siguieron estrictamente los lineamientos de las normas mexicanas de referencia para estructuras de mampostería y de manera general, se observaron pocas variaciones en cuanto a la calidad y el comportamiento de las probetas ensayadas a compresión diagonal, aunque se identificaron ciertos aspectos determinantes en los resultados obtenidos que se manifiestan a continuación.

- ❖ Se comprobó, con base en los resultados de las pruebas de muretes de BHC sometidos a compresión diagonal, que los cinco proveedores tienen una resistencia a compresión diagonal superior a la mínima de diseño especificada en las NTCM-2020 para edificaciones de mampostería Tipo I ($v'_m \geq 2.0 \text{ kg/cm}^2$). Este resultado es interesante, pues a pesar de que las resistencias a compresión de las piezas individuales (Gómez y Chanona, 2023) estuvieron por debajo del mínimo establecido en la normativa de referencia, los muretes muestran resistencias a compresión diagonal superiores a las esperadas.
- ❖ Este programa experimental era necesario ya que la construcción de este tipo de estructuras de mampostería de BHC se usa cotidianamente en la región, la cual es considerada con un alto peligro sísmico, y no había información experimental previa disponible sobre el tema.
- ❖ Es evidente la importancia de contar con valores de resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante que sirvan de guía para el diseño y la revisión de estructuras de mampostería de BHC en el municipio de Larráinzar y alrededores. Cabe recalcar que, por cuestiones de tiempo y falta de recursos y equipo, no se determinaron los módulos de cortante con base en las deformaciones presentadas en las diagonales de cada espécimen.

Únicamente se estimó un valor aproximado como lo indican las NTCM-2023 y se tomaron videos de alta definición en ambas caras de los muretes, así como mediciones de control en las diagonales principales, los cuales serán analizadas posteriormente y, debido a lo tardado del proceso no se reportan en esta tesis.

- ❖ La información presentada en las dos etapas que comprende este proyecto de investigación, se considera de gran valor con fines de diseño, ya que marca el inicio de un banco de datos que permita en un futuro generar una posible propuesta reglamentaria específica para el estado de Chiapas, con el entendido de que los agregados locales y las prácticas constructivas pueden diferir de otras regiones de México. Lo dicho anteriormente, garantizará la seguridad, la durabilidad, la calidad en las construcciones de las viviendas chiapanecas, así como de sus habitantes, siempre y cuando se lleve un correcto control de calidad en todos los procesos.
- ❖ En cuanto a las características de las probetas ensayadas, se identificó un problema de adherencia en las juntas verticales entre los BHC y el mortero provocada por el alto nivel de absorción producida por las piezas al agua de la mezcla de mortero. Por lo tanto, se recomienda cuidar este aspecto.
- ❖ Las llaves de corte generadas al aplicar mortero en toda la superficie de los BHC, favorecieron la adherencia en las juntas horizontales entre piezas.
- ❖ En lo concerniente al proceso constructivo con mampostería de BHC, se deberá ejercer una supervisión de obra estricta en la colocación de mortero para la unión de las piezas, verificando la uniformidad del espesor de las juntas de mortero.
- ❖ La realización de este estudio abre la puerta a futuras investigaciones en las cuales se pretende identificar el impacto de otras variables, de tal manera que, de acuerdo con los

aprendizajes obtenidos de este proceso de investigación, se considera importante replicar el programa experimental con diferentes piezas, como ladrillos de arcilla. Asimismo, se considera priorizar la optimización de la adherencia del mortero durante el proceso y probando otras mezclas de mortero aceptadas por las normas.

Referencias

- Alcocer, S. (1997). *Memoria del XI congreso nacional de ingeniería sísmica*. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A. C.
- Bloqueras.org. (s.f). *BLOQUERAS.ORG*. <https://bloqueras.org/bloques-concreto/>
- Borja S., M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. s.f.
- Catalán, P., Moreno, J., Galván, A., y Arroyo, R. (2019). Obtención de las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe mediante ensayos de laboratorio. *Acta Universitaria*, 29, p. 1-13, <https://doi.org/10.15174.au.2019.1861>
- Comisión Federal de Electricidad. (2015). *Manual de Diseño de Obras Civiles*. Comisión Federal de Electricidad (CFE).
- Delgado, D., Solís, J., Juárez, J., y Peralta, F. (2018). Esfuerzo cortante de la mampostería con mortero tipo I, con piezas de tabique de barro rojo recocido procedente del municipio de Tecpán de Galeana, Gro. *Revista de Ingeniería Civil*, 2(5), p. 16-21.
- Elvira, M. (2020). *Estudio experimental de propiedades mecánicas de mampostería de arcilla extruida fabricada con materiales de Monterrey y su aplicación en el diseño estructural*: [Tesis de Posgrado, Universidad Autónoma de Nuevo León].
- Fernández, L., Marín, F., Varela, J., y Vargas, G. (2009). Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, 13(2), p.41-50, <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46713053005>
- Gómez, L. M., y Chanona, J. F. (2023). *Estudio de propiedades mecánicas de bloques huecos de concreto fabricados en el municipio de Larraínzar, Chiapas*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chiapas].

- http://148.222.32.3/F/H3YY6A9Y9E1MGMHJ4FG3I43VMALETH3VCR16BT4PGT87KY7267-02196?func=full-set-set&set_number=005613&set_entry=000001&format=999
- Huapaya, C., y del Valle, J. (2018). *Guía de Investigación en Ciencias e Ingeniería, Ingeniería Civil*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, VRI-DGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010, Larráinzar, Chiapas*. INEGI. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/07/07049.pdf
- K. Hudgikar, S. (2021). *Métodos de Investigación: Para Ingenieros* (4a ed.). Kripa Drishti Publications.
- Lafuente, C., y Marín, A. (2008). Metodologías de la investigación en ciencias sociales: Fases, fuentes y selección de técnicas. *Revista Escuela de Administración de Negocios* (64), p. 5-18. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=20612981002>.
- Lizárraga, J. (2017). *Comportamiento de muros de mampostería confinada sobre elementos flexibles*. [Tesis doctoral, UNAM]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Meli, R. (1974). *Comportamiento sísmico de muros de mampostería*. México: [Tesis doctoral, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000294523>
- Meli, R. (2001). *Diseño Estructural* (2a. ed.). LIMUSA.
- ONNCCE, S. C. (2011). *Industria de la construcción- Mampostería- Determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería- Métodos de ensayo*. Diario Oficial de la Federación.

- Instituto para la Seguridad en las Construcciones en la Ciudad de México [ISC]. (2023). *Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería*. Gobierno de la Ciudad de México. https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/b3c4f4ff37241d0a93cc6742a8b0bf2f.pdf
- Servicio Geológico Mexicano. (22 de marzo de 2017). *Gobierno de México*. <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Sismologia-de-Mexico.html>
- Tena, A., Juárez, A., y Salinas, V. (2009). Cyclic behavior of combined and confined masonry walls. *Engineering Structures*, 31, p. 240-259.
- Zacaria, A., y Sánchez, S. (2021). Cal como factor influyente en la resistencia a compresión diagonal de la mampostería. *Cuaderno Activa* (13), p. 61-72.

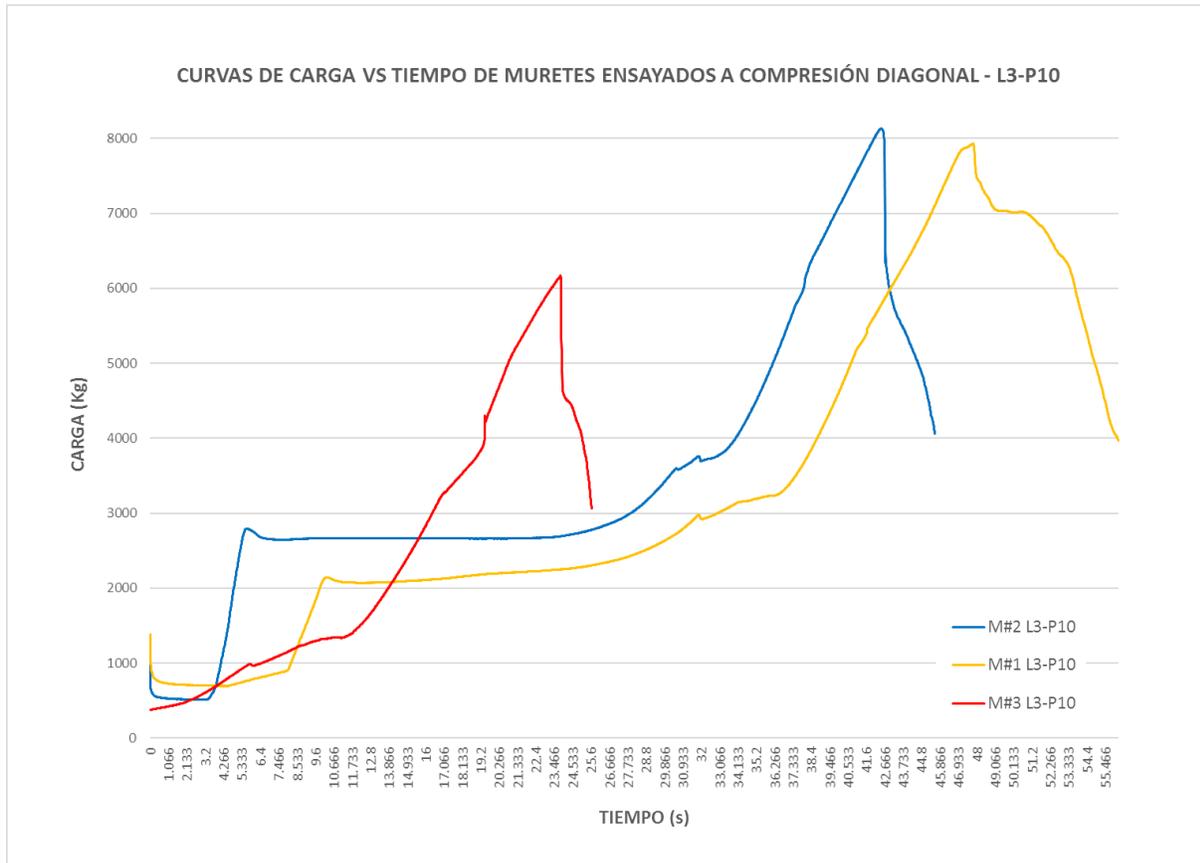
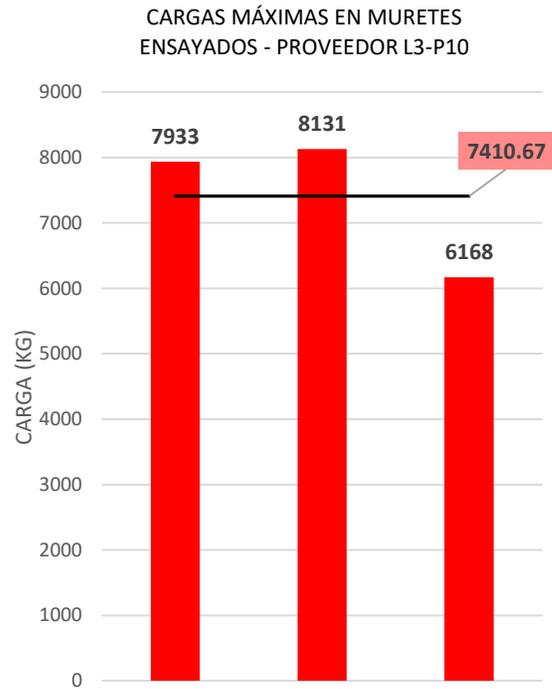
ANEXOS

ANEXOS

ANEXO 1. Datos de los ensayos realizados y curvas carga vs tiempo por proveedor.

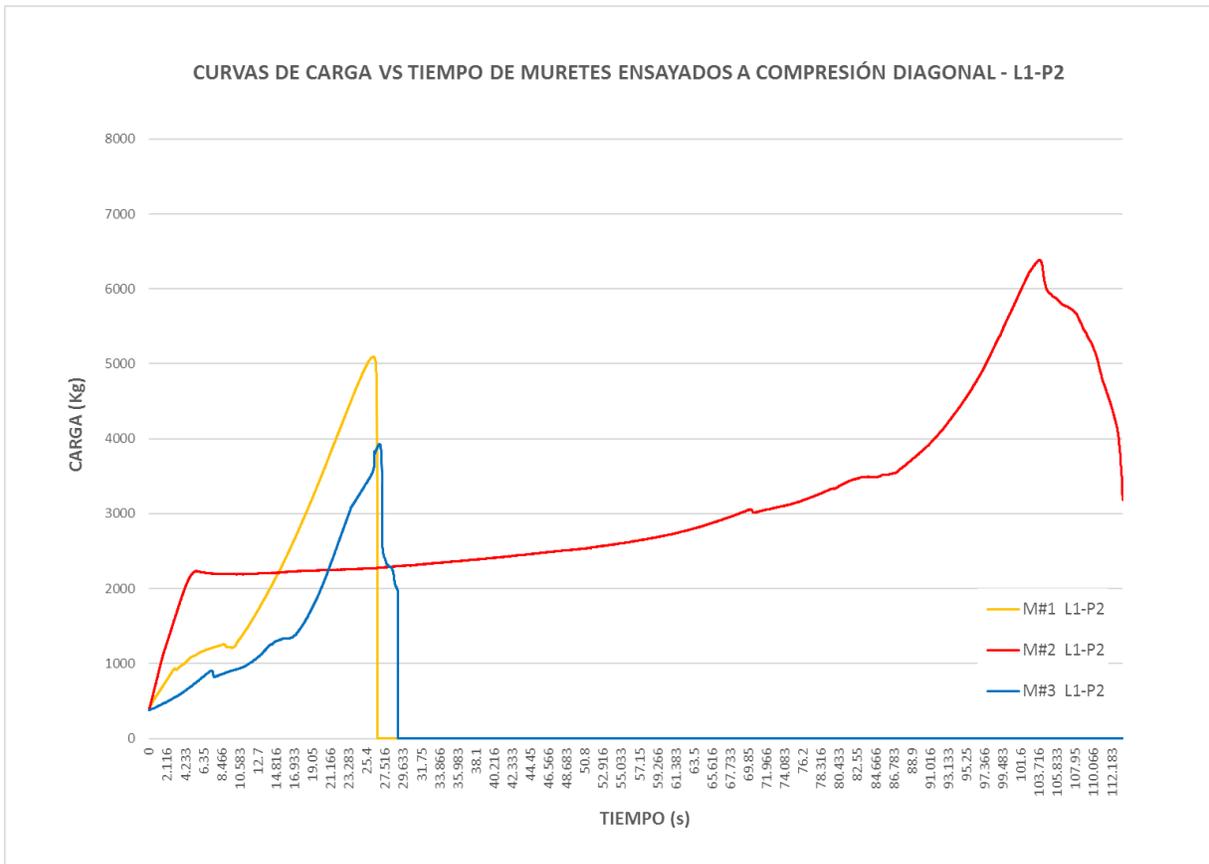
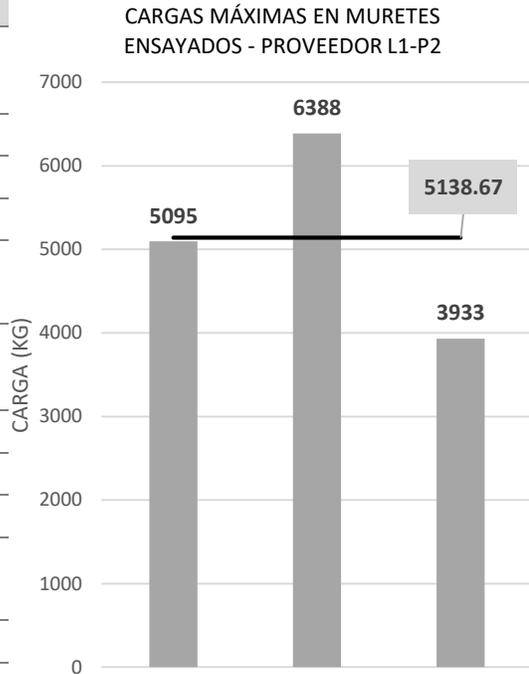
Resultados de Ensayes a Compresión Diagonal			
No. de ensaye:	M#1 L3-P10	M#2 L3-P10	M#3 L3-P10
Fecha:	29/02/2024	29/02/2024	29/02/2024
Hora:	13:23:02	14:05:33	14:53:03
Tipo:	MURETE	MURETE	MURETE
Carga Máx. (Kg):	7933	8131	6168
Vm (Kg/cm ²):	6.45	6.63	5.01
Área (cm ²):	1230.46	1225.96	1230.96
Lc (cm):	87.08	86.76	87.12
t (cm):	14.13	14.13	14.13
Edad (días):	> 28	> 28	> 28

Nota. Fuente: elaboración propia.



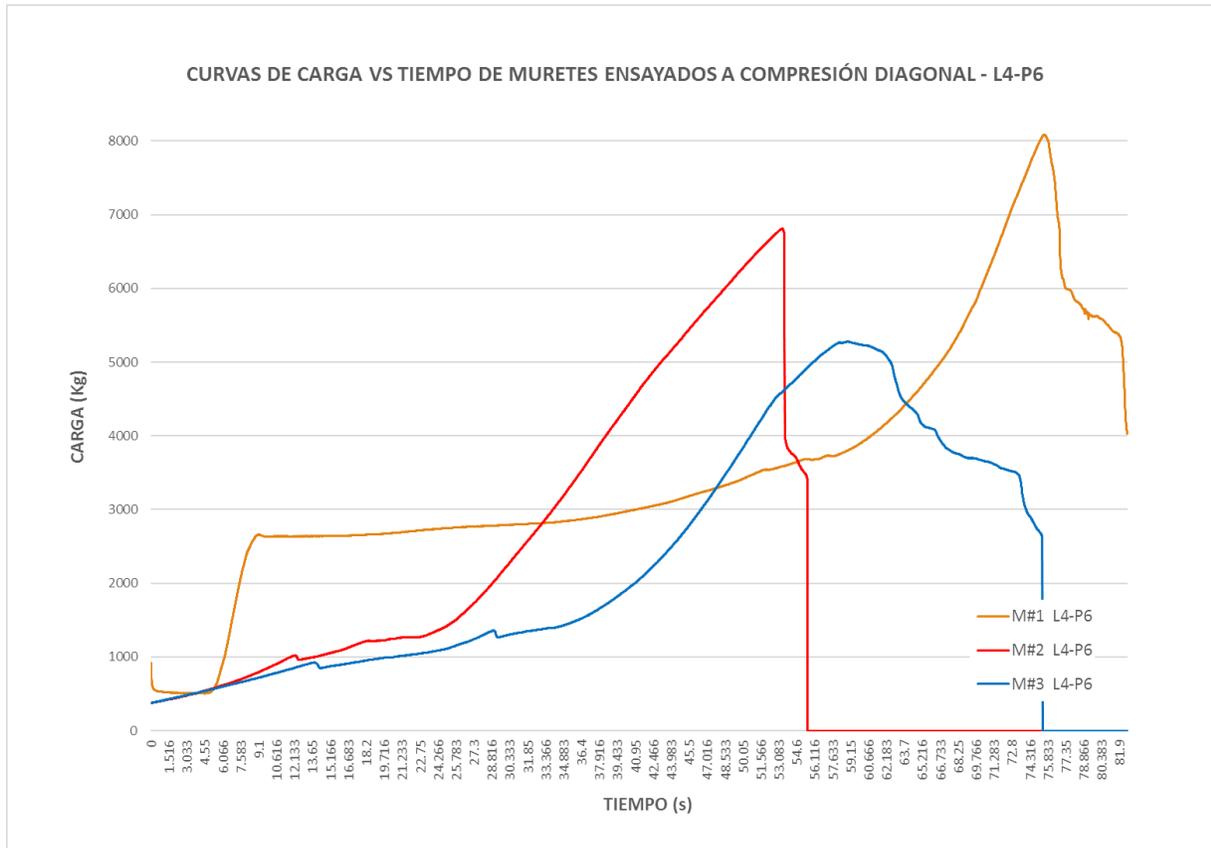
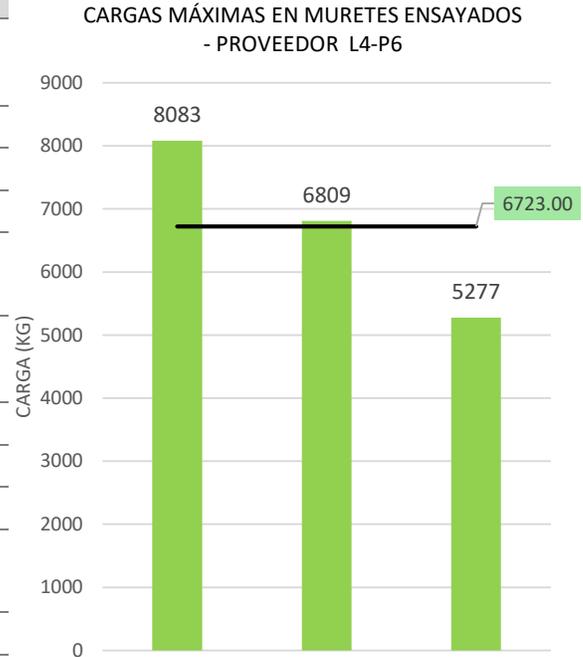
Resultados de Ensayes a Compresión Diagonal			
No. de ensaye:	M#1 L1-P2	M#2 L1-P2	M#3 L1-P2
Fecha:	03/01/2024	03/14/24	03/14/24
Hora:	14:16:48	08:06:20	11:15:40
Tipo:	MURETE	MURETE	MURETE
Carga Máx. (Kg):	5095	6388	3933
Vm (Kg/cm ²):	4.16	5.19	3.20
Área (cm ²):	1225.47	1230.95	1228.99
Lc (cm):	86.73	87.12	86.98
t (cm):	14.13	14.13	14.13
Edad (días):	> 28	> 28	> 28

Nota. Fuente: elaboración propia.



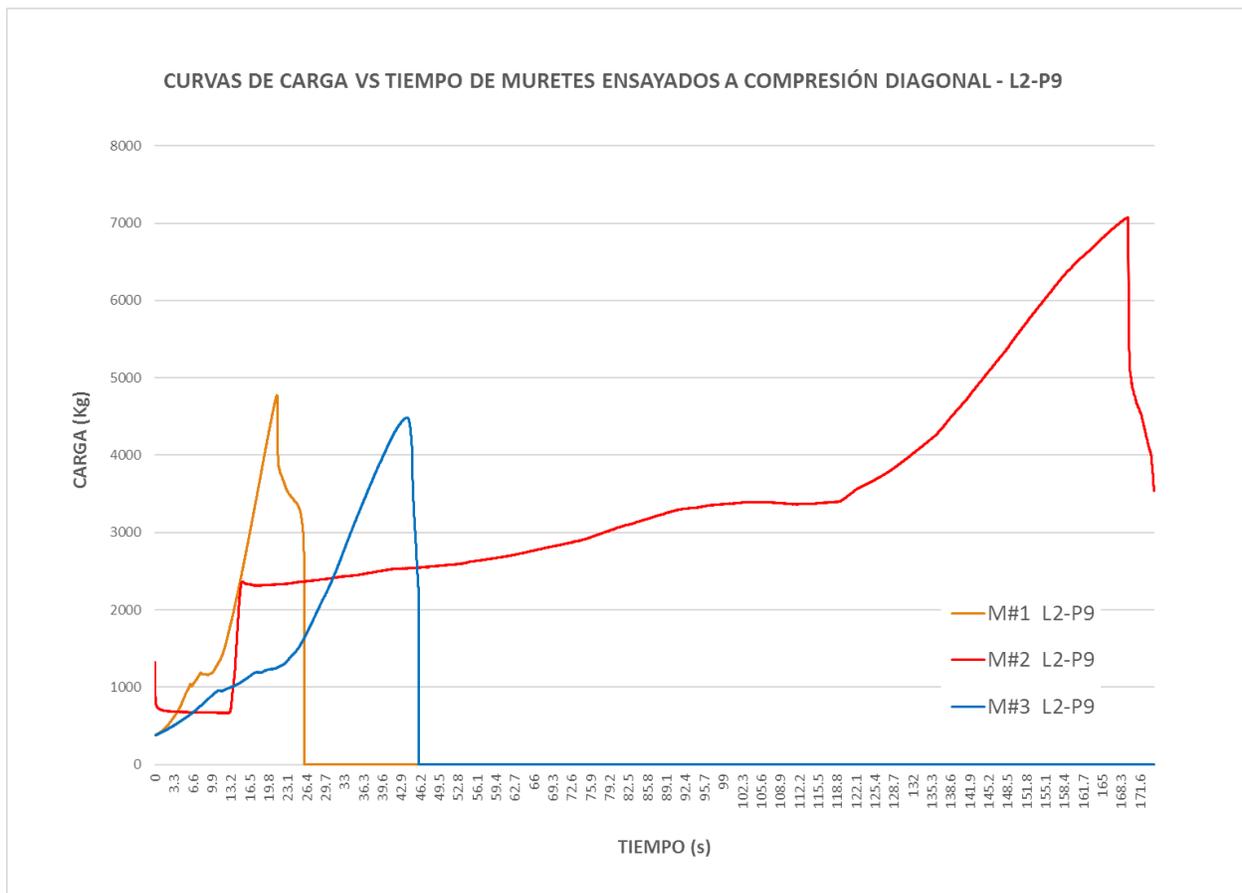
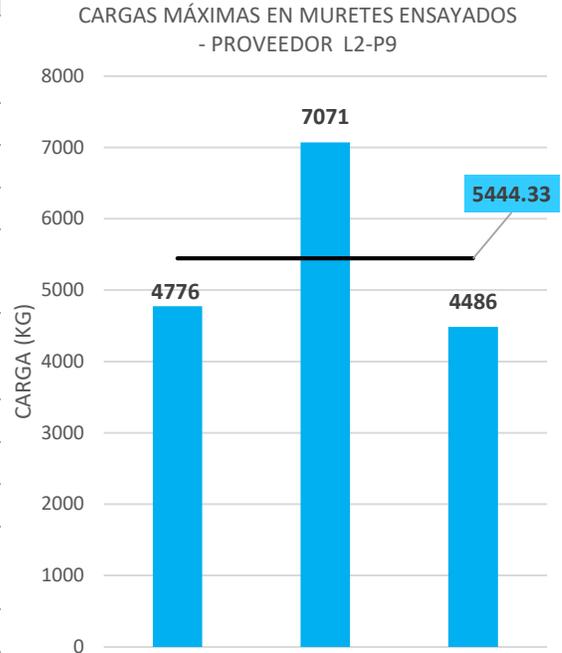
Resultados de Ensayes a Compresión Diagonal			
No. de ensaye:	M#1 L4-P6	M#2 L4-P6	M#3 L4-P6
Fecha:	03/01/2024	03/08/2024	03/08/2024
Hora:	13:38:39	11:19:47	13:03:59
Tipo:	MURETE	MURETE	MURETE
Carga Máx. (Kg):	8083	6809	5277
Vm (Kg/cm²):	6.60	5.53	4.30
Área (cm²):	1224.48	1231.94	1225.95
Lc (cm):	86.66	87.19	86.76
t (cm):	14.13	14.13	14.13
Edad (días):	> 28	> 28	> 28

Nota. Fuente: elaboración propia.



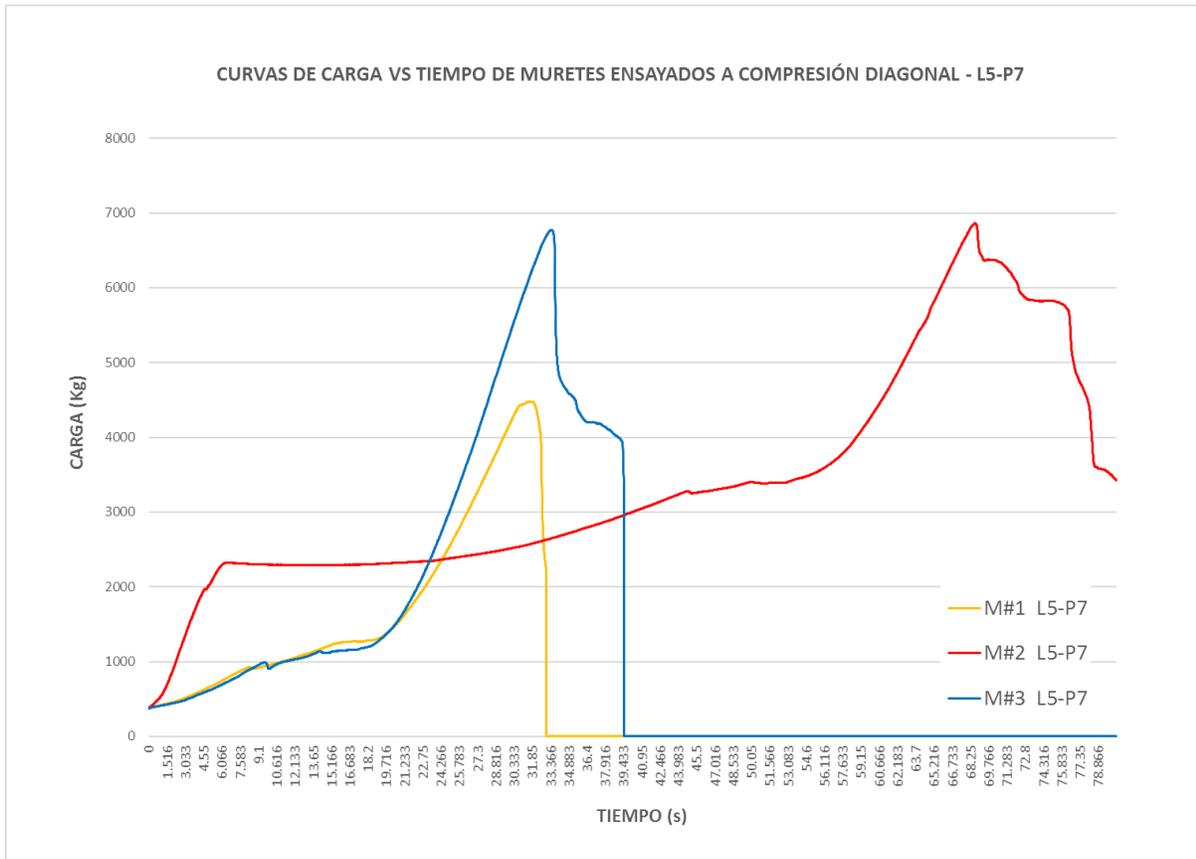
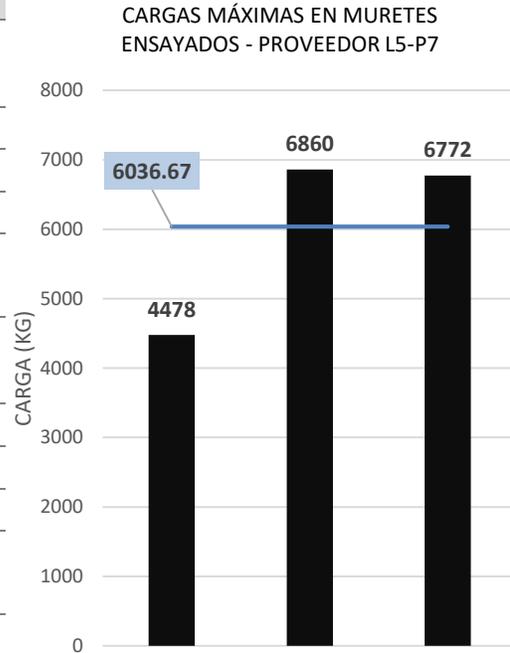
Resultados de Ensayes a Compresión Diagonal			
No. de ensaye:	M#1 L2-P9	M#2 L2-P9	M#3 L2-P9
Fecha:	02/29/24	03/07/2024	03/07/2024
Hora:	19:31:59	18:26:22	19:29:59
Tipo:	MURETE	MURETE	MURETE
Carga Máx. (Kg):	4776	7071	4486
Vm (Kg/cm ²):	3.85	5.71	3.63
Área (cm ²):	1239.46	1238.46	1234.48
Lc (cm):	87.72	87.65	87.37
t (cm):	14.13	14.13	14.13
Edad (días):	> 28	> 28	> 28

Nota. Fuente: elaboración propia.



Resultados de Ensayes a Compresión Diagonal			
No. de ensaye:	M#1 L5-P7	M#2 L5-P7	M#3 L5-P7
Fecha:	02/29/24	03/14/24	03/14/24
Hora:	18:35:47	18:09:57	20:39:00
Tipo:	MURETE	MURETE	MURETE
Carga Máx. (Kg):	4478	6860	6772
Vm (Kg/cm ²):	3.62	5.57	5.51
Área (cm ²):	1237.99	1230.95	1228.99
Lc (cm):	87.61	87.12	86.98
t (cm):	14.13	14.13	14.13
Edad (días):	> 28	> 28	> 28

Nota. Fuente: elaboración propia.

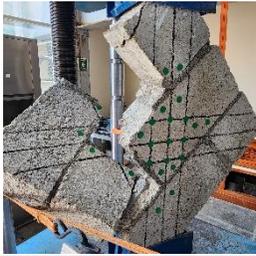
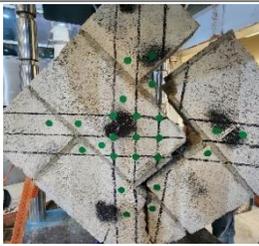


ANEXO 2. Tabla de resumen de datos calculados y obtenidos durante la investigación.

Datos obtenidos y calculados de los ensayos de muretes a compresión diagonal																				
Proveedor	B1 (cm)	B2 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	Lc1 (cm)	Lc2 (cm)	Lc (cm)	t (prom)	P _{max} (Kg)	\bar{P} (Kg)	σP (Kg)	\bar{P} (Kg)	σP (Kg)	V _m (Kg/cm ²)	\bar{V}_m (Kg/cm ²)	σV_m (Kg/cm ²)	\bar{V}_m (Kg/cm ²)	σV_m (Kg/cm ²)	Cv	V ² _m (Kg/cm ²)
M#1 L3-P10	61.3	61.2	61.8	62	87.05	87.12	87.08	14.09	7933					6.47						
M#2 L3-P10	61	61.1	61.6	61.7	86.69	86.83	86.76	14.09	8131	7410.67	1080.72			6.65	6.05	0.89				
M#3 L3-P10	61.3	61.3	61.8	62	87.05	87.19	87.12	14.09	6168					5.02						
M#1 L1-P2	62	61.5	61.8	61.9	87.54	87.26	87.40	14.24	5095					4.09						
M#2 L1-P2	61.3	61.3	61.7	61.4	86.97	86.76	86.87	14.24	6388	5138.67	1228.08			5.16	4.15	0.99				
M#3 L1-P2	61.3	61	61	62	86.48	86.98	86.73	14.24	3933					3.18						
M#1 L4-P6	62	61.4	60.9	60.8	86.91	86.41	86.66	14.19	8083					6.57						
M#2 L4-P6	61.6	61.6	61.9	61.5	87.33	87.04	87.19	14.19	6809	6723.00	1404.98	6150.67	1396.76	5.50	5.45	1.14	5.00	1.15	0.23	3.18
M#3 L4-P6	61.4	61.5	61	61.5	86.55	86.97	86.76	14.19	5277					4.29						
M#1 L2-P9	62	61.7	61.7	62.7	87.47	87.97	87.72	14.03	4776					3.88						
M#2 L2-P9	61.9	61.3	62.7	62	88.11	87.19	87.65	14.03	7071	5444.33	1416.18			5.75	4.43	1.15				
M#3 L2-P9	61.7	61.3	61.4	62.7	87.05	87.69	87.37	14.03	4486					3.66						
M#1 L5-P7	61.8	61.2	62	62.8	87.54	87.69	87.61	14.09	4478					3.63						
M#2 L5-P7	61.7	61.2	61.8	61.7	87.33	86.90	87.12	14.09	6860	6036.67	1350.56			5.59	4.91	1.11				
M#3 L5-P7	61.2	60.8	61.8	62.2	86.98	86.98	86.98	14.09	6772					5.53						
<i>Promedio</i>		61.43		61.79		87.13														

Nota. Fuente: elaboración propia.

ANEXO 3. Tipo de falla registrado en cada murete ensayado.

Resultados de Ensayes a Compresión Diagonal				
Proveedor		M1	M2	M3
L3-P10	Fotografía			
	Tipo de Falla	Combinada	Combinada	Combinada
L1-P2	Fotografía			
	Tipo de Falla	Por cortante	Combinada	Por cortante
L4-P6	Fotografía			
	Tipo de Falla	Combinada	Combinada	Combinada
L2-P9	Fotografía			
	Tipo de Falla	Combinada	Combinada	Combinada
L5-P7	Fotografía			
	Tipo de Falla	Combinada	Combinada	Tensión diagonal

Nota. Fuente: elaboración propia.

ANEXO 4. Terminología de interes relacionada con la investigación. (Fuente: NTCM-2023, p. 7-11).

Agregado

Material constitutivo del concreto o mortero. Debe cumplir con NMX-C-111-ONNCCE-2018.

Área bruta de una pieza de mampostería

Área del rectángulo que inscribe a la totalidad de la sección transversal de la pieza en un plano paralelo al plano de apoyo de la pieza. Se asume que la pieza es prismática.

Área neta de una pieza de mampostería

Área sólida de material que resulte menor de las obtenidas para las secciones transversales, paralelas al plano de apoyo, a todo lo alto de la pieza.

Cemento de albañilería

Conglomerante hidráulico comercializado para trabajos de albañilería y que puede contener uno o más de los materiales siguientes: cemento Portland, cemento portland ordinario, cemento portland de escoria de alto horno, cemento portland puzolánico, a los cuales se les puede agregar uno o más materiales tales como: cal hidratada, piedra caliza, arcilla o puzolana u otros materiales para dar plasticidad y trabajabilidad a la mezcla.

Laboratorio acreditado

Laboratorio acreditado por una entidad acreditadora.

Mampostería

Construcción compuesta, integrada por piezas de origen pétreo, naturales o artificiales, que por lo general son lo suficientemente pequeñas como para ser manejadas por una persona y que son unidas entre sí con mortero.

Mampostería confinada

Sistema a base de muros de mampostería rodeados con castillos y dalas.

Mampostería reforzada interiormente

Sistema a base de muros de mampostería en el que los elementos resistentes tienen acero de refuerzo horizontal y vertical distribuido en forma aproximadamente uniforme.

Mortero

Mezcla de arena, cemento portland y otros cementantes como cal hidratada o cemento de albañilería, y agua, que se utiliza para pegar las piezas de mampostería. Puede usarse para rellenar las celdas de las piezas en muros de mampostería con refuerzo interior.

Murete

Probeta de mampostería utilizada para obtener experimentalmente la resistencia a compresión diagonal.

Muro

Elemento resistente con eje vertical que se caracteriza porque su sección transversal tiene una dimensión mucho menor en un sentido que en el sentido perpendicular.

Normas

Normas Técnicas Complementarias y otras Normas del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal vigentes.

NTC-Mampostería

Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.

Pila

Probeta de mampostería que se utiliza para obtener la resistencia a compresión de la mampostería.

Pieza hueca

Es la clasificación que se da a una pieza de mampostería que tiene un área neta de, al menos, 50 por ciento, pero es menor que 75 por ciento, del área bruta, y cumple con los espesores de pared establecidos.

Pieza maciza

Es la clasificación que se da a una pieza de mampostería que tiene un área neta mayor o igual al 75 por ciento del área bruta, y cumple con los espesores de pared establecidos.

Pretil o parapeto

Muro de baja altura.

Refuerzo horizontal

Barras o alambres de acero que se colocan en las juntas horizontales de la mampostería. El refuerzo también puede colocarse en piezas especiales que tienen ranuras o cavidades paralelas a las juntas.

Refuerzo vertical

Barra o alambre de acero que se coloca en una cavidad en el sentido vertical del muro, que resulta de la alineación, a todo lo alto del muro, de las celdas de las piezas de mampostería. Dichas cavidades se rellenan de concreto o mortero después de colocado el refuerzo.

Resistencia de diseño

Producto de la resistencia nominal, calculada a partir de las NTC, por el factor de resistencia, **FR**.

Resistencia nominal

Resistencia de un elemento o una sección transversal calculada con las disposiciones e hipótesis del método de diseño por resistencia de las NTC, antes de aplicar cualquier factor de resistencia, **FR**.

Rigidez

Oposición de un material o elemento estructural a ser deformado. Es el esfuerzo necesario para producir una deformación unitaria o, alternativamente, es la carga requerida para producir un desplazamiento unitario. La rigidez angular se define como el momento que produce un giro unitario.

Tabicón

Tabique macizo compuesto de concreto.

Tabique

Pieza para mampostería de forma prismática rectangular, de dimensiones menores que el bloque, fabricado con concreto o con arcillas, comprimidas o extruidas, mediante un proceso de cocción. Puede ser macizo o hueco. Al tabique macizo de arcilla, de fabricación artesanal, se le conoce comúnmente como ladrillo y al tabique macizo de concreto como tabicón.

Valor esperado

Valor medio de una propiedad o parámetro.