

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**RESPUESTA A CORTANTE DE LA MAMPOSTERÍA DE  
BLOQUES HUECOS DE CONCRETO ANTE DIFERENTES  
FORMAS DE COLOCACIÓN DEL MORTERO**

Por:

**PAOLA ROMO LETECHIPÍA**

**Como requisito parcial para obtener el Grado de MAESTRÍA EN  
CIENCIAS con Orientación en Ingeniería Estructural**

Julio, 2024

## TABLA DE CONTENIDO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	v
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	vi
<b>RESUMEN</b> .....	vii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	viii
<b>GLOSARIO</b> .....	ix
<b>INTRODUCCIÓN Y DISEÑO METODOLÓGICO</b> .....	12
<b>1.1 Introducción y antecedentes</b> .....	12
<b>1.2 Planteamiento del problema</b> .....	15
<b>1.3 Relevancia científica</b> .....	16
<b>1.4 Hipótesis</b> .....	17
<b>1.5 Objetivos</b> .....	17
1.5.1 Objetivo general .....	17
1.5.2 Objetivos específicos .....	18
<b>1.6 Alcances de investigación</b> .....	18
<b>ESTADO DEL CONOCIMIENTO ACTUAL</b> .....	20
<b>2.1 Introducción</b> .....	20
<b>2.2 Mampostería</b> .....	21
2.1.1 Tipología .....	21
<b>2.3 Pieza</b> .....	24
2.2.1 Peso volumétrico .....	24
2.2.2 Absorción .....	25
2.2.3 Resistencia a compresión .....	26
<b>2.4 Mortero</b> .....	29
<b>2.5 Interfaz</b> .....	31
<b>2.6 Capacidad a cortante</b> .....	33
2.6.1 Modos de falla .....	34
2.6.2 Respuesta sísmica de mampostería no reforzada .....	38
2.6.3 Ensayos a compresión diagonal .....	39
<b>2.7 Expresiones para obtener la resistencia a compresión diagonal y módulo de corte en las diferentes normativas nacionales e internacionales</b> .....	41

2.8 Conclusiones parciales.....	45
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>47</b>
3.1 Introducción.....	47
3.2 Materiales .....	48
3.2.1 Materia prima .....	48
3.2.2 Equipo y herramientas.....	49
3.3 Métodos de preparación y ensaye.....	49
3.4 Técnicas de análisis .....	51
3.4.1 Diseño experimental .....	51
3.4.2 Procesamiento de los resultados.....	53
3.4.3 Análisis estadístico.....	53
3.5 Procedimiento .....	54
3.6 Pruebas .....	56
3.6.1 Caracterización del mortero.....	57
3.6.2 Caracterización de los bloques .....	61
3.7 Conclusiones parciales .....	64
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>66</b>
4.1 Introducción.....	66
4.2 Comparación de la resistencia del mortero con diferentes investigaciones.....	67
4.2.1 Cubos .....	67
4.2.2 Briquetas.....	69
4.2.3 Cilindros .....	70
4.3 Comparación de resistencia a compresión de bloques de diferentes investigaciones.....	71
4.4 Muretes .....	73
4.4.1 Análisis de los muretes con mortero en área neta.....	73
4.4.2 Análisis de los muretes con mortero en caras laterales.....	78
4.5 Análisis comparativo de muretes entre el mortero colocado en área neta y caras laterales.....	83
4.5.1 Análisis estadístico (SPSS) .....	86
4.5.2 Discusión comparativa del módulo de Yong ( $E_m$ ) y módulo de corte ( $G_m$ ) en las diferentes investigaciones de mampostería con bloques huecos de concreto con colocación de mortero en el área neta y el área de caras laterales.....	90
4.6 Conclusiones parciales .....	92

<b>CONCLUSIONES</b> .....	94
<b>5.1 Conclusiones</b> .....	94
<b>5.2 Recomendaciones</b> .....	95
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	97
<b>ANEXOS</b> .....	102

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Tipos de mampostería simple [20].	22
<b>Figura 2.</b> Mampostería Confinada [23].	22
<b>Figura 3.</b> Tipos de mampostería [24].	23
<b>Figura 4.</b> Mampostería: a) Totalmente inyectada, b) Parcialmente inyectada y c) Parcialmente reforzada [23].	23
<b>Figura 5.</b> Tipos de piezas de mampostería: a) Multiperforadas, b) Huecas y c) Macizas [25].	24
<b>Figura 6.</b> Bloques, junta de mortero y componentes de esfuerzo en mampostería [34].	32
<b>Figura 7.</b> Envoltorio y tipos de pruebas en especímenes de mampostería [38].	35
<b>Figura 8.</b> Tipos de fallas en muretes de mampostería a compresión diagonal, falla: a) Por tensión diagonal, b) De cortante, c) Combinada y d) Por aplastamiento de las esquinas [13] e) Deslizamiento [16].	36
<b>Figura 9.</b> Ensayo de resistencia a compresión del mortero (cubos).	57
<b>Figura 10.</b> Resultados de la resistencia a compresión del mortero con base en la NMX - C - 061 [32].	58
<b>Figura 11.</b> Ensayo de resistencia a compresión del mortero (cilindros).	59
<b>Figura 12.</b> Resultados de la resistencia a compresión del mortero con base en la ASTM C39 [57].	59
<b>Figura 13.</b> Ensayo de resistencia a tensión del mortero (briquetas).	60
<b>Figura 14.</b> Resultados del mortero sometido a esfuerzos de tensión con base a la ASTM C 307 - 03 [33].	60
<b>Figura 15.</b> Ensayo de resistencia a compresión en bloques huecos de concreto.	61
<b>Figura 16.</b> Comparación de resistencia a compresión en bloques con respecto al a) Área bruta y b) Área neta.	63
<b>Figura 17.</b> Gráfico comparativo de diferentes investigaciones sobre la resistencia a compresión en cubos de mortero.	68
<b>Figura 18.</b> Gráfico comparativo de diferentes investigaciones sobre la resistencia a tensión en briquetas de mortero.	69
<b>Figura 19.</b> Gráfico de relación de la resistencia a compresión entre cubos y cilindros.	71
<b>Figura 20.</b> Resistencia a compresión de bloques sobre a) $A_b$ y b) $A_n$ .	72
<b>Figura 21.</b> Gráfica esfuerzo - deformación de muretes con mortero en área neta.	74
<b>Figura 22.</b> Diferentes tipos de fallas obtenidas en muretes con el mortero colocado en área neta: a) Combinada, b) Adherencia, c) Tensión diagonal y d) Deslizamiento.	76
<b>Figura 23.</b> Gráfica esfuerzo - deformación de muretes con mortero en área de caras laterales.	78
<b>Figura 24.</b> Diferentes tipos de fallas obtenidas en muretes con el mortero colocado en área de caras laterales: a) Adherencia, b) Combinada y c) Deslizamiento.	80
<b>Figura 25.</b> Gráfica comparativa de esfuerzo - deformación de muretes en área neta y cara lateral.	83
<b>Figura 26.</b> Gráficas comparativas de muretes en la misma escala con colocación en a) Área neta y b) Área de caras laterales.	84
<b>Figura 27.</b> Análisis Kolmogórov-Smirnov en muretes con colocación del mortero en área neta en a) $V_m$ y en b) $V'_m$ .	87
<b>Figura 28.</b> Análisis Kolmogórov-Smirnov en muretes con colocación del mortero en área de caras laterales en a) $V_m$ y en b) $G_m$ .	87
<b>Figura 29.</b> Prueba de muestras independientes en $\tau_{máx}$ para colocación en área neta y caras laterales.	88
<b>Figura 30.</b> Prueba de muestras independientes en el $G_m$ para colocación en área neta y caras laterales.	88

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Peso volumétrico neto mínimo de piezas, en estado seco [26].</i> .....	25
<b>Tabla 2.</b> <i>Valores máximos de absorción inicial y absorción total de agua en 24 h [25].</i> .....	26
<b>Tabla 3.</b> <i>Valores mínimos permitidos de resistencia especificada de diseño a compresión de piezas de mampostería [17].</i> .....	28
<b>Tabla 4.</b> <i>Tipos de mortero [26].</i> .....	29
<b>Tabla 5.</b> <i>Tipos de mortero y resistencia de diseño a la compresión [13, 17].</i> .....	30
<b>Tabla 6.</b> <i>Resistencia de diseño a compresión diagonal para algunos tipos de mampostería, sobre área bruta [26].</i> .....	40
<b>Tabla 7.</b> <i>Especificaciones del comportamiento a corte en diferentes normativas internacionales...</i> 43	
<b>Tabla 8.</b> <i>Expresiones para obtener resistencia a compresión diagonal y módulo de corte en diferentes normas internacionales.</i> .....	44
<b>Tabla 9.</b> <i>Clasificación de piezas para fines de la norma [17].</i> .....	62
<b>Tabla 10.</b> <i>Tabla resumen de la comparativa de los cubos de mortero.</i> .....	68
<b>Tabla 11.</b> <i>Resumen de la comparativa de las briquetas de mortero.</i> .....	70
<b>Tabla 12.</b> <i>Resumen de la comparativa de la resistencia a compresión de bloques huecos de concreto sobre área bruta y área neta</i> .....	73
<b>Tabla 13.</b> <i>Porcentaje de tipos de fallas en colocación del mortero en área neta.</i> .....	75
<b>Tabla 14.</b> <i>Cálculo de la resistencia a compresión diagonal y módulo cortante para distintas normas cuando el mortero es colocado en área neta</i> .....	77
<b>Tabla 15.</b> <i>Porcentaje de tipos de fallas en los muretes ensayados con la colocación del mortero en área de caras laterales</i> .....	81
<b>Tabla 16.</b> <i>Cálculo de la resistencia a compresión diagonal y módulo cortante para distintas normas cuando el mortero es colocado en área de caras laterales</i> .....	82
<b>Tabla 17.</b> <i>Resumen de los parámetros mecánicos que componen el comportamiento a corte en muretes de mampostería con dos tipos de colocación.</i> .....	85
<b>Tabla 18.</b> <i>Resumen de los resultados del análisis estadístico de las pruebas experimentales.</i> .....	89
<b>Tabla 19.</b> <i>Comparación de módulos mecánicos de diferentes investigaciones en colocación del mortero en área neta y área de caras laterales.</i> .....	91

## RESUMEN

La mampostería es un material de construcción compuesto por piezas (bloques o ladrillos) unidas con mortero. Actualmente, es uno de los materiales más usados en la construcción en México y otros países del mundo, y su función es resistir fuerzas tanto verticales como horizontales en edificios de vivienda uni o multifamiliar. Por lo anterior, una correcta unión entre las unidades y el mortero (interfaz) es esencial, así como la determinación del comportamiento estructural debido a las cargas aplicadas. En la práctica constructiva de muros de mampostería en México, existe una divergencia con lo que establecen las normas de diseño y construcción en cuanto a la forma de colocación del mortero. Esto representa una incertidumbre en el comportamiento general de la mampostería estructural. El objetivo de la presente investigación es estudiar la influencia que tiene la colocación del mortero en la mampostería de bloques de concreto de dos huecos sometida a esfuerzos cortantes. Se utilizaron bloques con dimensiones modulares de 15 x 20 x 40 cm (espesor x altura x largo) y un mortero tipo I con una dosificación de 1:6 (cemento: arena) con una resistencia a compresión para diseño mayor de 12.5 MPa. Se realizaron ensayos a compresión diagonal de 30 muretes de tres hiladas de 60 x 60 cm de acuerdo con la NMX-C-464-ONNCCE-2010. Se ensayaron 15 muretes contruidos con la colocación del mortero en el área neta (*Full Face*) y 15 con la colocación del mortero en las caras laterales (*Face Shell Bedding*). Se obtuvieron los tipos de fallas predominantes para ambos casos, así como la resistencia a la compresión diagonal y el módulo de cortante. También, se realizó un análisis de diferentes normativas nacionales e internacionales (México, Canadá, Australia, Estados Unidos de América y Reino Unido), teniendo en cuenta la resistencia y el módulo a cortante determinando las especificaciones de cada país.

## AGRADECIMIENTOS

Este apartado tiene la finalidad de dar los agradecimientos a las instituciones y personas que hicieron posible este trabajo. Agradezco al posgrado del IIC de la UANL por aceptar mi admisión como estudiante de maestría en el departamento de ingeniería estructural, así como el apoyo de CONHACYT que, sin sus recursos no hubiera podido establecerme en la estancia de mis estudios de posgrado.

Agradezco a mi directora de tesis la Dra. Milena Mesa Lavista que durante todo el periodo de investigación estuvo al tanto en el trabajo, así como la ayuda a resolver dudas y problemáticas a las que se enfrentaron. También agradezco a mi co- director y coordinador el Dr. José Álvarez Pérez que desde el primer semestre estuvo presente para plantear el tema de investigación y en todo el lapso del tiempo me apoyo, a los dos les agradezco mucho.

Agradezco a mis docentes: M. Diego Cavazos de Lira, Dr. Lucio, Dr. Daniel, Dr. Roberto Pérez, Dr. Elías Chávez, Dr. Humberto Chávez, Dra. Milena, Dr. José que me tuvieron la paciencia para aprender adecuadamente las materias del programa académico de la maestría.

Agradezco a todas las personas del dpto. de estructuras: Ing. Villa, Ramón, Aurelio, Yanet, Karlas, Lau, Félix, Neto, Tadeo, Tommy, Ricky, Ángel, Marfi, Max, Diego, Choco, Jose, Blanquita, Monsi, Randy y Cheque.

Agradezco a todos mis amigos que en todo el tiempo estuvieron a mi lado animándome y haciéndome sentir feliz en el proceso: Sami C., Juan V., Alan A., Fer H., Yuli G., Jared B., Alex M., Javi, Isra V., Dani, Monse, Jaqui, Lego, Julián, Karla, Ilse, Dey, Dari, Carlos, Lulú y Gabo.

Y sobre todo agradezco y dedico este trabajo a mi familia, en especial a mi mamá Chelo que es mi ejemplo a seguir y siempre está conmigo en todas partes, mi hermano Carlos que siempre me motiva y me apoya en lo que hago, mi tía Luci y mi abuelita Chelo que son como mis segundas mamás, mis primos: Edgar, Abraham, Vianey y Alex que son como mis hermanos, mi papá Joel y mi tío Javier, gracias por ayudarme a lograr este objetivo en mi vida y sobre todo darme amor incondicional y hacerme feliz sabiendo que tengo el honor de ser parte de su familia.

## GLOSARIO

$A_b$	Área bruta, cm <sup>2</sup> .
$A_n$	Área neta, cm <sup>2</sup> .
$C_p$	Coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las piezas, expresado en decimales, %
<b>COV</b>	Coeficiente de variación, %
$C_v$	Coeficiente de variación de la resistencia a compresión diagonal de muretes, %
$E_m$	Módulo de elasticidad, MPa.
$f_{an}$	Cociente entre área neta y el área bruta de las piezas
$f'_{mt}$	Resistencia de diseño a flexión de la mampostería, MPa.
$f_p$	Esfuerzo resistente a la compresión, MPa.
$f'_p$	Resistencia de diseño a compresión en piezas, MPa.
$\overline{f_p}$	Resistencia media a compresión de las piezas, referida al área bruta, MPa.
$G_e$	Módulo de rigidez a corte, MPa.
$G_m$	Módulo de cortante, MPa.
$h$	Altura del espécimen, cm.
$L_c$	Longitud de la diagonal a compresión, cm.
$l_{o_c}$	Longitud instrumentada, medida antes del ensayo, de la diagonal a compresión medida entre los tornillos de sujeción de los apoyos de transductores, mm.
$l_{o_t}$	Longitud instrumentada, medida antes del ensayo, de la diagonal a tensión medida entre los tornillos de sujeción de los apoyos de transductores, mm.

<b>LVDT</b>	<i>Lineal Variable Differential Transductor.</i>
<b><math>n</math></b>	Porcentaje del área bruta de la unidad que es sólida, expresado como decimal
<b>NTC</b>	Normas Técnicas Complementarias.
<b><math>P</math></b>	Carga máxima, Kg.
<b><math>t</math></b>	Espesor del murete, cm.
<b><math>V_m</math></b>	Resistencia a compresión diagonal del murete, MPa.
<b><math>V'_m</math></b>	Resistencia a compresión diagonal para fines de diseño, MPa
<b><math>\overline{V}_m</math></b>	Resistencia media a compresión diagonal de muretes referida al área bruta, MPa.
<b><math>w</math></b>	Ancho del espécimen, cm

### Letras griegas

<b><math>\alpha</math></b>	Ángulo de inclinación del murete cuando está sometido a carga monolítica, °.
<b><math>\gamma</math></b>	Deformación angular, mm/ mm.
<b><math>\gamma_2</math></b>	Deformación angular producida por el esfuerzo $\tau_2$ , mm/ mm.
<b><math>\delta_c</math></b>	Acortamiento en la dirección paralela a la carga, mm
<b><math>\delta_t</math></b>	Extensión en la dirección perpendicular la carga, mm
<b><math>\epsilon_c</math></b>	Deformación unitaria de la diagonal a compresión, mm/ mm
<b><math>\epsilon_t</math></b>	Deformación unitaria de la diagonal a tensión, mm/ mm.
<b><math>\tau</math></b>	Esfuerzo cortante, MPa.
<b><math>\tau_1</math></b>	Esfuerzo cortante correspondiente a 0.00005 de deformación angular, MPa.
<b><math>\tau_2</math></b>	Esfuerzo cortante correspondiente al 40% de la carga máxima, MPa.
<b><math>\nu</math></b>	Coefficiente de Poisson, adimensional.

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN Y DISEÑO METODOLÓGICO

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN Y DISEÑO METODOLÓGICO

### 1.1 Introducción y antecedentes

La mampostería es un material compuesto que consta de unidades/ piezas unidas con o sin mortero [1, 2]. Una correcta unión entre las unidades y el mortero es esencial, y determina cómo la mampostería transfiere y resiste los esfuerzos debido a las diversas cargas aplicadas [2], esto se conoce como interface.

Los muros de mampostería son actualmente los elementos estructurales más usados para resistir fuerzas tanto verticales como horizontales en edificios de vivienda uni o multifamiliar, en México [3]. Es por ello que actualmente la investigación sobre el comportamiento estructural de la mampostería ha estado en constante desarrollo [4].

Conocer el comportamiento sobre la diversidad de las estructuras existentes es importante en la ingeniería civil. Además, es necesario que las estructuras mantengan su equilibrio estático, verificando que su resistencia sea la adecuada para resistir las cargas a las que son sometidas. Para cumplir con dicho equilibrio es necesario analizar los esfuerzos de compresión, cortante, tensión, flexión, torsión, entre otras.

Respecto al desarrollo y aplicación de la mampostería con bloques huecos de concreto en elementos estructurales, es importante el estudio del comportamiento que se presenta ante esfuerzos dados, el cual puede realizarse

de manera experimental, analítica y/o computacional [5]. Torres [6] comenta que los datos obtenidos de análisis analíticos pueden ser corroborados con los datos generados en pruebas experimentales.

Algunas de las pruebas existentes para conocer el comportamiento y obtener propiedades básicas de la mampostería en un estudio experimental son: compresión axial, tensión por flexión y compresión diagonal, entre otras [5]. De tal forma, los avances de este comportamiento han sido muy significativos en el laboratorio durante la última mitad de siglo, generando progreso en la modelación numérica con relación en el comportamiento del material para validar los modos de falla ante acciones sísmicas [4].

Ahora bien, cuando los muros de carga de mampostería son sometidos a fuerzas laterales originadas por excitaciones sísmicas/ de viento, etc. generan dentro del mismo, esfuerzos en dirección diagonal [7]. Siendo el esfuerzo de corte y el módulo cortante los parámetros relevantes a considerar.

Para un estructurista, el análisis mecánico sobre colapsos en muros de mampostería y los patrones de grietas son fundamentales para la evaluación de la capacidad sísmica que el material tiene. Pues esto es, debido a que los tamaños y posiciones de las aberturas son punto clave para el desempeño en el plano de los muros de mampostería [8].

En el estado de Nuevo León, México, una problemática es la ausencia de normas técnicas para el diseño y construcción de estructuras de mampostería. Por ello, es importante conocer las características y propiedades física y mecánicas de los materiales, así como los procedimientos constructivos que se emplean en la región.

El Centro Nacional de Prevención de Desastres [3] señala que la posibilidad de establecer un reglamento simple para la determinación de las propiedades como resistencia a cortante de estructuras de mampostería no es sencillo. Por lo que, si se busca realizar un reglamento para cada región, se deben realizar ensayos empleando materiales de cada una de estas. De esta manera se

sugieren que sean consideradas en los diferentes estados que componen la república mexicana por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE).

En los últimos años, se han llevado a cabo algunos estudios de la resistencia a compresión sobre mampostería con bloques huecos de concreto [9, 10], así como de la resistencia a tensión de estas piezas [11]. Sin embargo, el comportamiento a compresión de la mampostería con bloque tiene una gran diferencia a la mampostería con ladrillo macizo, así mismo, dentro de este intervienen las características geométricas, mecánicas y tipos de bloques. Cabe aclarar que no solo influyen estas características, sino también los tipos de mortero, así como los tipos de interfaz del mortero (completo o en caras laterales) y la resistencia de esta, afecta las respuestas generales de la mampostería [12].

Es por lo anterior que las diferencias entre los tipos de interfaz son: “*Full Face*” aquella donde el mortero es aplicado sobre el elemento, y abarca toda el área neta del mismo. Mientras que la definición de “*Face Shell Bedding*” es aquella donde el mortero es aplicado solamente en los extremos laterales sobre toda la longitud de la pieza. Las normativas mexicanas [13], establecen que para construcciones de mampostería el mortero debe ser aplicado en la variante de área neta, no obstante, actualmente en la práctica ingenieril, sobre todo en el norte de México, es aplicado en el área de caras laterales.

Actualmente, existen investigaciones [12, 14, 15] que estudian la resistencia de la mampostería a compresión cuando el mortero es aplicado en una variante o en la otra. Sin embargo, aún se necesita estudiar el fenómeno de resistencia a cortante.

Basado en todo lo anteriormente planteado, en la presente investigación se llevó a cabo un estudio experimental de la resistencia a cortante de la mampostería elaborada con bloques huecos de concreto manufacturados en el estado de Nuevo León, México, considerando la forma de colocación del mortero, sobre el área neta y sobre las caras laterales del bloque.

## 1.2 Planteamiento del problema

Uno de los problemas más serios que enfrenta México es el déficit en vivienda. Hoy en día, existen muchas constructoras mexicanas que pretenden suplir este déficit con la construcción de edificaciones de bajo costo. Teniendo en cuenta que para que estas viviendas presenten seguridad estructural es necesario que el material que se use para la construcción de estos elementos estructurales resista ante los diferentes tipos de esfuerzos. Así mismo, emplear técnicas tradicionales de construcción y usar procedimientos y materiales semi-industrializados e industrializados [3].

Para cumplir con este atributo es necesario que el material resista ante los diferentes tipos de esfuerzos. Y como se mencionó anteriormente el material de construcción con alta demanda dentro de la república mexicana es, la mampostería [5]. Por lo que se acude a la implementación de las normas de construcción de elementos de mampostería, ya que estas contienen especificaciones sobre los ensayos a realizar para evaluar el comportamiento.

Según la NMX-464-2010 [13] no han considerado modificaciones basadas en las propiedades de los materiales de cada región. Por este motivo, es de vital importancia la obtención de expresiones y consideraciones de diseño que representen la realidad constructiva en cada territorio. De ahí, que sea necesario ajustar las expresiones de diseño a partir de resultados experimentales realizados en muros a escala real, muretes y pilas [13].

Los Estados Unidos Mexicanos solo cuentan con las Normas Técnicas Complementarias (NTC) para el diseño y construcción de este tipo de estructuras [16], y están enfocadas principalmente para los materiales y necesidades de la Ciudad de México. En las NTC [17], se plantea que el mortero en la mampostería debe ser colocado en el área neta, sin embargo, en la práctica ingenieril, sobre todo al norte del país, este es colocado en las caras laterales. En ese sentido,

investigaciones recientes han estudiado este fenómeno en el comportamiento a compresión, teniendo como objeto de estudio las pilas [18]. Mientras que, la variación de la colocación del mortero en el comportamiento a cortante aún no está definida. Por lo tanto, la presente investigación se basa en la necesidad de estudiar el comportamiento de la mampostería a cortante cuando el mortero es colocado en las caras laterales del bloque y compararlo con los resultados al colocar el mortero en el área neta.

### **1.3 Relevancia científica**

La mampostería elaborada con bloques huecos de concreto es ampliamente utilizada en la construcción debido a sus ventajas en términos de costo y eficiencia. Sin embargo, el comportamiento a cortante de estas estructuras sigue siendo un área de estudio crucial para garantizar su seguridad y durabilidad.

Uno de los aspectos menos estudiados en la literatura es la influencia de la forma de colocación del mortero en el comportamiento a corte de la mampostería. Las prácticas actuales varían significativamente y la falta de un estándar definido puede llevar a inconsistencias en la resistencia y el desempeño estructural.

Este estudio presenta una investigación detallada sobre cómo diferentes técnicas de colocación del mortero pueden afectar o no, el comportamiento a corte de la mampostería con bloques huecos de concreto. Utilizando los ensayos experimentales y dejando las bases para futuros trabajos de simulación numérica.

Las recomendaciones derivadas de este estudio pueden ser directamente aplicadas en proyectos de construcción, permitiendo a los profesionales seleccionar las mejores prácticas de colocación de mortero para maximizar la

resistencia a corte de las estructuras de mampostería. Además, estos resultados pueden influir en la actualización de códigos y normas de construcción.

## **1.4 Hipótesis**

Con la variación de la colocación del mortero en el área neta del bloque y la cara lateral, variará significativamente el comportamiento a cortante en mampostería de bloques huecos de concreto (BHC).

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Comparar la mampostería de bloques huecos de concreto construida con mortero en el área neta y áreas laterales ante la acción de la fuerza cortante.

### 1.5.2 Objetivos específicos

- I. Estudiar y analizar la literatura científica referente a mampostería con bloques huecos de concreto.
- II. Realizar la experimentación de muretes sometidos a compresión diagonal, confeccionados con bloques huecos de concreto comerciales de la región con la variación en la forma de colocación de mortero.
- III. Analizar estadísticamente los resultados obtenidos en la experimentación.

### **1.6 Alcances de investigación**

Dentro de los alcances propuestos en la tesis se establece lo siguiente:

- Obtención de las curvas experimentales esfuerzo – deformación de los muretes ensayados a compresión diagonal con colocación del mortero en área de cara lateral y área neta sobre los BHC.
- Comparación con las normativas internacionales de los resultados obtenidos experimentalmente.
- Brindar recomendaciones en cuanto al diseño y construcción de la mampostería relacionada con los tipos de falla obtenidos.

## CAPÍTULO II: ESTADO DEL CONOCIMIENTO ACTUAL

# **CAPÍTULO II**

## **ESTADO DEL CONOCIMIENTO ACTUAL**

### **2.1 Introducción**

Este capítulo tiene como objetivo plantear los fundamentos teóricos básicos que comprenden la investigación basada en el método científico. Por lo que, el contenido de este capítulo define el material que se estudió (mampostería) así como la definición de sus elementos componentes (bloque y mortero). Las características que muchas veces conllevan a la tipología de los materiales anteriormente mencionados están también desarrolladas y especificadas. Adicionalmente, también se aborda el tema de la importancia que tiene la interfaz que conecta al bloque y el mortero.

Además, se analiza la definición de capacidad a cortante, en que situaciones se da este esfuerzo y algunos términos técnicos que se relacionan a él. Por otro lado, se presentan las expresiones y la metodología para la obtención de las curvas esfuerzo-deformación que establecen los diferentes ensayos. Se presenta la definición del ensayo a compresión diagonal, así como los modos de falla y las características de cada modo que se producen en el ensayo.

## 2.2 Mampostería

La mampostería es un sistema tradicional de construcción que consiste en erigir muros y paramentos mediante la colocación manual de los mampuestos (elementos o materiales que los componen) [19]. Mismos que contienen unidades/ piezas de construcción, dispuestas en un patrón regular, normalmente unidas entre sí mediante un mortero a base de cemento, y en estructuras más antiguas/ patrimoniales se emplean materiales naturales con características puzolánicas [20].

Además, la mampostería está definida como un material débil a esfuerzos de tensión manifestando un comportamiento cuasi - frágil. Este comportamiento se caracteriza por presentar una degradación de resistencia y rigidez rápida, así como, una naturaleza de discontinuidad en la estructura creando un comportamiento lineal complejo. Por las características anteriores, se proporciona información entre las relaciones existentes entre las cargas y desplazamientos en las estructuras, las cuales están sometidas a cargas que exceden el límite de elasticidad [1, 6, 19].

### 2.1.1 Tipología

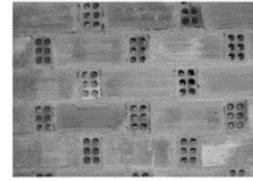
La mampostería tiene una tipología determinada y con base al trabajo [21] se presenta una clasificación de la siguiente manera:

- Simple: No se coloca refuerzo alguno, ni se confina [22], como se muestra en la **Figura 1**.
- Piedras naturales: Comúnmente utilizadas para muros de retención y en la construcción de cimentaciones [22], estos muros están compuesto por

piedras naturales unidas con o sin mortero como se muestra en la **Figura 1** inciso a).



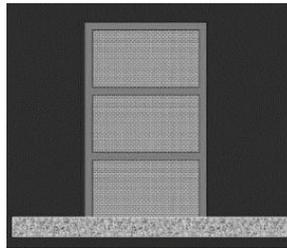
a) Mampostería simple de piedras naturales



b) Ladrillos de arcilla utilizados en rellenos de mampostería

**Figura 1.** Tipos de mampostería simple [20].

→ Confinada: Los muros de mampostería son rodeados (o confinados) por elementos de concreto reforzado (dadas y castillos) de pequeña sección transversal (ver **Figura 2**) [19, 22]



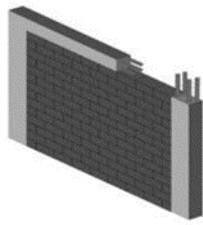
**Figura 2.** Mampostería Confinada [23]

→ Diafragma: Son aquellos que se encuentran rodeados en su perímetro por vigas y columnas, proporcionándoles a los marcos del edificio una mayor rigidez lateral, ante la acción de las cargas horizontales [22].

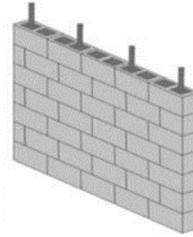
→ Reforzada: En la cual se coloca refuerzo interior en el muro (puede ser refuerzo de acero o de algún mortero) ya sea horizontal y/ o vertical [19]. Dentro de esta se pueden subclasificar en 3 tipos diferentes (ver **Figura 3** y **Figura 4**):

1. Mampostería reforzada totalmente inyectada
2. Mampostería reforzada parcialmente inyectada

### 3. Mampostería parcialmente reforzada [23]

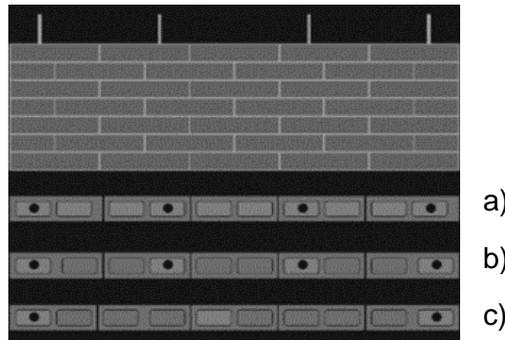


a) Mampostería Confinada



b) Mampostería Reforzada

**Figura 3.** Tipos de mampostería [24]

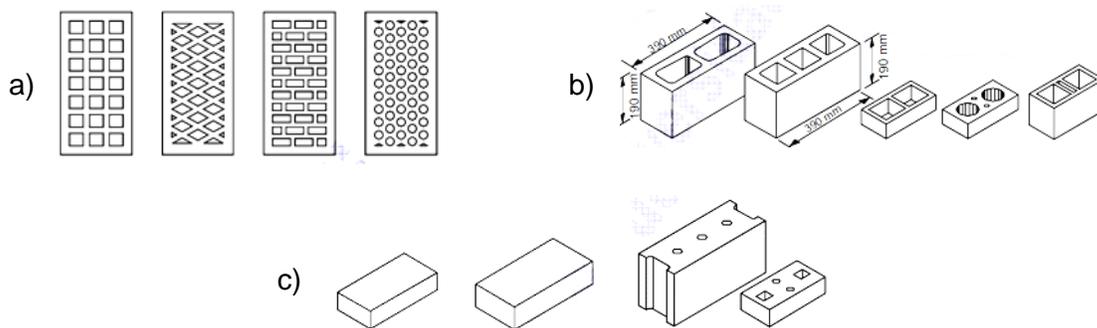


**Figura 4.** Mampostería: a) Totalmente inyectada, b) Parcialmente inyectada y c) Parcialmente reforzada [23]

La diferencia de estos dos tipos de mamposterías está en que, la simple exhibe un comportamiento frágil ante las acciones laterales cíclicas (como las inducidas por los sismos). Y la mampostería confinada o reforzada tienen una mejor capacidad, medida en una resistencia superior, con mayor deformabilidad, o sea, la capacidad de mantener carga a grandes deformaciones [19].

## 2.3 Pieza

Las piezas que se utilizan para la mampostería tienen una diversidad de características que describen a este elemento, las primordiales se basan en la dependencia del tipo de material y la geometría que las compone. De esta manera las piezas son la resultante del material principal en la mampostería ya que la característica básica de ellas tiene primacía en su alta resistencia a compresión axial. Con base a las normas que nos marca la ONNCCE, a continuación, se pueden observar las diferentes geometrías por las que son compuestas las piezas: Macizas, huecas o multiperforadas (ver **Figura 5**).



**Figura 5.** Tipos de piezas de mampostería: a) Multiperforadas, b) Huecas y c) Macizas  
[25]

### 2.2.1 Peso volumétrico

El peso volumétrico es un parámetro geométrico que queda determinado como el cálculo del espacio que ocupa un elemento en el medio, en otras palabras, es la relación del peso entre su unidad de volumen. La NTC [17] determina un valor

mínimo especificado para las piezas que se usan en elementos estructurales de mampostería, mismo que se muestra en la **Tabla 1**:

**Tabla 1.** *Peso volumétrico neto mínimo de piezas, en estado seco [26].*

Tipo de pieza	Valores	
	KN/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>
Tabique macizo de arcilla artesanal	13	1300
Tabique hueco de arcilla extruida o prensada	17	1700
<b>Bloque de concreto</b>	<b>17</b>	<b>1700</b>
Tabique macizo de concreto (tabicón)	15	1500

### 2.2.2 Absorción

Una investigación en Pakistán [27] ratifica la importancia de la absorción del agua en las piezas usadas para mampostería, pues este parámetro es altamente significativo en la unión de la mampostería y el mortero. De esta manera la absorción de la pieza influye en gran medida con la resistencia de la unión a la tensión y al corte de la mampostería consecuentemente en términos generales al debilitamiento del material. Esto es debido que si hay un alto porcentaje de absorción en la pieza, por ende la absorción de agua sobre el mortero al ser colocado será igual, dejando pequeña cantidad de agua en la hidratación del mortero y de esta manera generando un mortero débil [27].

La determinación de la absorción total o inicial de agua en bloques se realiza mediante el ensayo que especifica la NMX-C-037 [28]. La absorción inicial queda definida como la cantidad de agua que absorbe un espécimen por capilaridad en una de sus caras bajo determinadas condiciones teniendo como resultado el coeficiente de absorción. Se observa en la **Tabla 2** los valores máximos de

absorción inicial y total de agua que determina la ONNCCE en la NMX-C-404 [25], el cálculo previo para definir estos porcentajes se realiza con base en la NMX-C-036 [28].

**Tabla 2.** Valores máximos de absorción inicial y absorción total de agua en 24 h [25]

<b>Tipo de material</b>	<b>Absorción inicial para muros expuestos al exterior (g/min)</b>	<b>Absorción inicial para muros interiores o con recubrimiento (g/min)</b>	<b>Absorción total en 24 horas en porcentaje</b>
Concreto	5	7.5	12
Arcilla artesanal	-	-	23
Arcilla extruida o prensada	5	7.5	19

### 2.2.3 Resistencia a compresión

Los estudios de las referencias [29, 30], definen la importancia e interés que debe existir en las propiedades mecánicas de la pieza, debido a que forman parte esencial en la respuesta del comportamiento de la unidad ante la aplicación de fuerzas ejercidas sobre ella. Así, algunas de las propiedades son: resistencia a la compresión (parámetro crucial para determinar la calidad de pieza), módulo de rotura, absorción de agua, entre otros.

La resistencia a la compresión de las piezas se ve afectadas por el confinamiento lateral ejercido por los cabezales de la máquina universal. Pues dicho confinamiento depende de la relación de esbeltez de la pieza (altura/ ancho menor) y del material utilizado para su fabricación. Por ello, la resistencia de las piezas

dependen principalmente del proceso de seguridad en la calidad y el nivel de industrialización de la planta [19].

Desafortunadamente en algunas ocasiones las fábricas no fomentan la suficiente seguridad de obtener un buen desempeño en el comportamiento de la pieza (resistencia a compresión). Esto es debido a la poca importancia que se le da en el control de calidad, ya que se cuida más la apariencia y estabilidad dimensional que la propia resistencia en sí [19].

De esta manera, uno de los problemas identificados en la manufactura industrial de las piezas que conforman la mampostería, está relacionado con la gran variabilidad en la resistencia que estas presentan.

Por otra parte, cabe recalcar la importancia sobre la distinción que las normas hacen debido a su comportamiento en los diferentes tipos de piezas. Pues es notable la diferencia entre estas ante carga lateral, un ejemplo son las piezas macizas, estas presentan una mayor resistencia, así como una mejora en el comportamiento debido a que la generación de grietas tiende a seguir el mortero y estas generan a su vez trayectorias más largas. Por otra parte, las piezas huecas sobrellevan una falla tipo frágil debido a que la pieza es fácilmente atravesada por dichas fisuras [6].

La resistencia a compresión de la pieza se determina con base en la NMX-C-036 [31] y este, es el parámetro más importante del que dependen las propiedades mecánicas de los muros de mampostería. El cálculo del esfuerzo a la compresión del espécimen ( $f_p$ ) queda definido en la **Ec. 1**, denotado como el cociente de la carga máxima registrada ( $P$ ) entre el área total transversal de la probeta ( $A$ ) o sea, el área bruta de la sección perpendicular a la dirección de la carga.

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

**Ec. 1.** Resistencia a compresión de la pieza

Del cálculo anterior, la NTC [17] de elementos de mampostería especifican cual es la ecuación para determinar la resistencia de diseño a compresión referida al

área bruta ( $f'_p$ ), la cual queda definida como la relación entre la media de la resistencia a compresión de las piezas ( $\bar{f}_p$ ) sobre la sumatoria de 1 + 2.5 multiplicado por el coeficiente de variación de la resistencia de diseño a compresión de las piezas ( $c_p$ ), calculado como el cociente de la desviación estándar entre la media de la resistencia a la compresión (ver **Ec. 2**). Y en la **Tabla 3** se observan los valores mínimos de esta resistencia de diseño que rige la normativa.

$$f'_p = \frac{\bar{f}_p}{1 + 2.5 c_p}$$

**Ec. 2.** Resistencia de diseño a compresión de la pieza

**Tabla 3.** Valores mínimos permitidos de resistencia especificada de diseño a compresión de piezas de mampostería [17]

Tipo de pieza y material	$f'_p$
	MPa (Kg/ cm <sup>2</sup> )
	<b>Diseño</b>
Tabique macizo de arcilla artesanal	6 (60)
Tabique macizo o multiperforado de arcilla o concreto	10 (100)
Tabique hueco de arcilla o de concreto	6 (60)
Bloque macizo o multiperforado de arcilla o de concreto	10 (100)
<b>Bloque hueco de arcilla o de concreto</b>	<b>6 (60)</b>

## 2.4 Mortero

El mortero es un material de construcción que presenta dos componentes principales, uno de ellos es el cemento hidráulico o cemento de albañilería, y el segundo es el agregado fino (arena). Esta mezcla puede tener diferentes dosificaciones para el diseño del mismo e inclusive añadir una proporción de cal, de acuerdo a la norma mexicana [17]. De esta manera el mortero es un material esencial para la mampostería debido que su consistencia es favorable para pegar piezas de construcción, tiene eficacia para el secado de las juntas y una de sus propiedades mecánicas (resistencia a compresión) es alta.

Se observa en la **Tabla 4** la especificación de las normas mexicanas que designa los proporcionamientos de los materiales componentes del mortero con base a la clasificación de dos diferentes tipos de mortero.

**Tabla 4.** Tipos de mortero [26]

Tipo de mortero	Partes de:			
	Cemento hidráulico	Cemento de albañilería	Cal hidratada	Arena
I	1	-	0 a 1/4	3
	1	1/2	-	4 y 1/2
II	1	-	0 a 1/2	4 y 1/2
	1	1	-	6

Es importante mencionar que, los proporcionamientos incluidos en la **Tabla 4** son sólo indicativos; ya que en la **Tabla 5** se muestra que el mortero deberá cumplir con la resistencia a compresión de diseño establecida independientemente de su dosificación. Estos valores son considerados con base al área bruta del espécimen de mortero que se ensaye (ver **Tabla 5**)

**Tabla 5.** Tipos de mortero y resistencia de diseño a la compresión [13, 17]

Tipo de mortero	Resistencia característica de diseño a la compresión MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )
I	12.5 (125)
II	7.5 (75)

Como anteriormente se había mencionado, el desarrollo que tiene el comportamiento de los elementos que conforman la mampostería se relaciona directamente con las propiedades del mortero, las fundamentales son:

- Módulo de elasticidad ( $E_m$ )
- Resistencia a la compresión ( $f'$ )
- Resistencia a la tensión (o resistencia a la adherencia)

El módulo elástico está asociado al efecto que causa la deformabilidad, la resistencia de carga axial debido a la compresión y la resistencia a compresión diagonal a la resistencia a tensión. Derivado de esto, para obtener el control de calidad del mortero se realiza el ensayo a compresión de cubos de 5 cm de lado [32], así como el ensayo a tensión en briquetas [33].

De esta manera, lo presentado en la **Tabla 4** y **Tabla 5** demuestran la necesidad de definir el diseño de mezcla que se debe realizar para obtener un mortero deseable, así como las propiedades que lo componen. Esto para desarrollar en el comportamiento general de la mampostería un buen desempeño como elemento estructural.

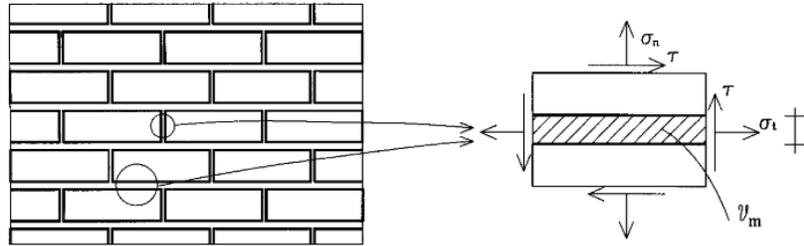
## 2.5 Interfaz

La mampostería como se estableció en el principio de este capítulo es un material que presenta diferentes propiedades. De las cuales, la investigación [6] menciona que la función de la dirección en la que estén orientadas las juntas del mortero, son consideraciones elementales que deben ser establecidas. Debido a que los planos de falla formados por la orientación que estas juntas tienen, de manera general preexisten por un desarrollo masivo de grietas en las mismas, limitando la capacidad de la resistencia final de la mampostería. Basados en estos hechos científicos de [6] es justificable realizar ensayos experimentales con una variación en la orientación del mortero que la compone. Lo anterior ayuda a analizar la influencia que esta variabilidad tiene en el comportamiento a corte de la mampostería.

Datos obtenidos de una investigación en Italia [34], establece que la influencia de la forma de la junta de mortero y el esfuerzo a compresión en el comportamiento de ésta, se puede obtener mediante modelos bidimensionales y ecuaciones constitutivas adecuadas para la mampostería. En esta situación, es posible obtener resultados acerca de la resistencia lateral utilizando el modelo continuo para un material que carece de resistencia a la tensión como lo es, la mampostería. No obstante, para la descripción correcta de las fuerzas horizontales se deben considerar modelos constitutivos más detallados, por lo que las características de la fase posterior al pico y la respuesta histerética de las paredes son una consecuencia afectada por el patrón.

De acuerdo con el grado de precisión para el modelo de mampostería que se desea obtener se requiere determinar el desarrollo preliminar de los modelos constitutivos para cada componente (ver **Figura 6**). Además, para la interfaz pieza - mortero donde existe la descohesión y el deslizamiento por fricción, se puede considerar tres enfoques diferentes para poder obtener modelos disponibles según sus niveles de complejidad:

- I. Ensamblajes de mampostería simple
- II. Paneles simples
- III. Muros de cortante de gran escala



**Figura 6.** Bloques, junta de mortero y componentes de esfuerzo en mampostería [34]

Así, el enfoque más directo será aquel que considere las unidades de pieza y las juntas de mortero como elementos continuos. Se determinó en el estudio de la referencia [34] que para tener la capacidad en el comportamiento frágil de los materiales debe ser considerado un modelado de elementos finitos y de ecuaciones constitutivas tomando en consideración el comportamiento frágil de los materiales. Sin embargo, se considera que los modelos deben mejorarse para obtener una mejor descripción en el comportamiento de la interfaz pieza - mortero basado en la teoría de la mecánica de fractura.

Considerando que el trabajo en el modelado de muros de corte de mampostería de pieza cargada en un plano es compuesto, esto significa que, la interfaz de juntas de mortero combina tanto la mecánica del daño, como el daño en el propio mortero. Provocando la descohesión elemento - mortero seguido por la activación de la apertura y el deslizamiento por fricción. Con base a lo anterior, la ecuación constitutiva de la interfaz se postula en términos de dos variables internas: a) Deslizamiento por fricción y b) Daño de la junta de mortero [34].

Las pruebas de triplete ayudan a identificar de manera más simple, los parámetros del modelo del interfaz, por tal razón se deriva una herramienta que interpreta dos puntos fundamentales en los muros de mampostería:

- I. Degradación de rigidez
- II. Disipación histerética [34].

Los tripletes (*Triplay*) son pruebas de corte directo más simples y económicas que se pueden desarrollar en experimentación de laboratorio. Sin embargo, los parámetros medidos que se obtienen en este ensayo como la cohesión ( $\tau_o$ ) y el coeficiente de fricción ( $\mu$ ) son representativos del comportamiento de la junta del mortero más que del compuesto de mampostería [35]. Por lo que no se recomienda hacer este ensayo cuando la investigación se dirige al comportamiento de parámetros mecánicos de la mampostería a macro escala.

Literatura en Irak [1] menciona acerca del interés que debe existir en el ensayo de tripletes de piezas de mampostería, ya que la examinación de propagación de fracturas en la interfaz mortero - pieza se puede analizar con dicho ensayo. De esta manera se puede definir la evaluación del coeficiente de fricción y cohesión entre las capas de piezas y mortero [36].

## **2.6 Capacidad a cortante**

La vulnerabilidad sísmica de cualquier edificación es un término que define la predicción de la confiabilidad estructural y la selección de técnicas de refuerzo que pueden llevarse a cabo con base al conocimiento del comportamiento de los muros de cortante en el plano [34]. Madhavi, et al. [37] confirma que el estado del conocimiento de las características de resistencia y deformación de la mampostería cuando es sometida a cargas laterales en el plano tienen poco desarrollo en comparación con la compresión. Por lo que considerar parámetros como, la fuerza de corte y rigidez de los muros en el diseño de estructuras de mampostería contra cargas laterales, son parámetros que deben ser significativamente considerados.

Es por esta justificación el interés de los investigadores en esta área, encaminada a la modelación y experimentación de la respuesta de los muros bajo

acciones cíclicas horizontales de cortante. Caracterizándose en dos aspectos fundamentales: pico de carga y degradación de rigidez con una marcada disipación histerética [34].

El comportamiento histerético de los muros se evalúa a través de parámetros estructurales estándar, como la resistencia al agrietamiento, la resistencia máxima, la capacidad de desplazamiento, la ductilidad y los patrones de agrietamiento. Estas características se deben obtener por medio de un procedimiento de homogeneización, para esto existen diferentes propuestas de modelos continuos, algunos de ellos enfocados solo en la caracterización elástica de la mampostería. No obstante estos modelos han sido despreciados en la aplicación para el análisis de muros de cortante, siendo una parte mayor de ellos ignorados por la influencia del esfuerzo de compresión en la respuesta de la mampostería [34].

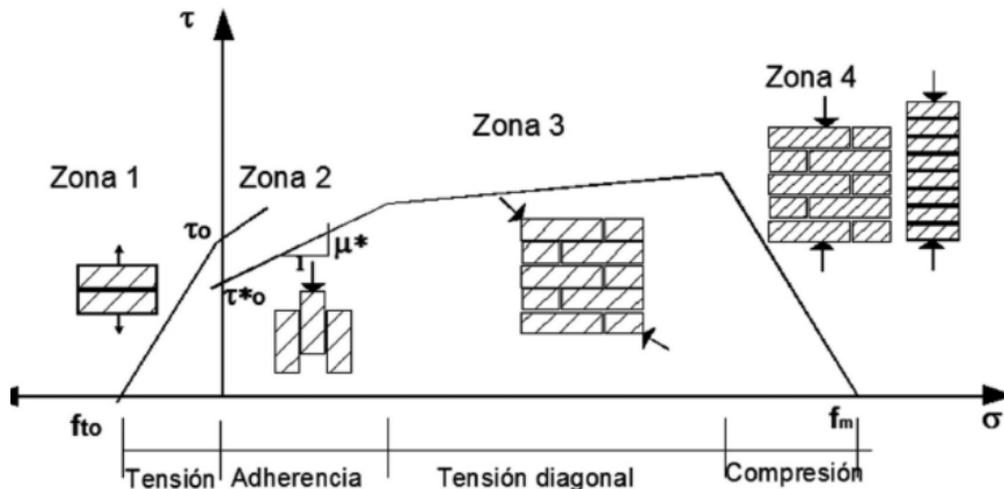
### 2.6.1 Modos de falla

Debido a la complejidad del comportamiento que la mampostería experimenta ante cargas laterales, existen diferentes modos de falla que dependen de las propiedades mecánicas de los materiales que la constituyen; así como de las condiciones de contorno, la geometría y el nivel de carga vertical que actúa sobre la estructura [35]. De tal manera, enfatizar en la importancia que tiene la fuerza de unión entre la pieza y el mortero para la respuesta ante las cargas antes mencionadas es fundamental. Siendo ésta una propiedad esencial del material que se puede utilizar para teorías de múltiples fallas dadas en este [36]. De manera consecuente, la investigación [36] hace mención a varios estudios que llegan a afirmar la relevancia que se le tiene que dar a la interacción y las características constructivas de los muros.

Un estudio en Guerrero [38] confirma que la resistencia a compresión normal y diagonal son dos de las variables que más significado tienen en el uso del diseño. Frente a la problemática de la inexistencia de valores regionales, los diseñadores recurren a los valores que indica la NTC de Mampostería de la Gaceta Oficial de la Ciudad de México (2004). Misma que especifica un valor máximo de 0.34 MPa de la resistencia a compresión diagonal, valor insuficiente para diseñar construcciones mayores a tres niveles.

Bajo esta consideración, la curva envolvente de la mampostería se observa en la **Figura 7**. Las fallas a las cuales puede estar sometida en función de los diferentes esfuerzos se presentan a continuación:

- Tensión (zona 1)
- Falta de adherencia en la junta (zona 2)
- Tensión diagonal (zona 3)
- Compresión (zona 4) [38]

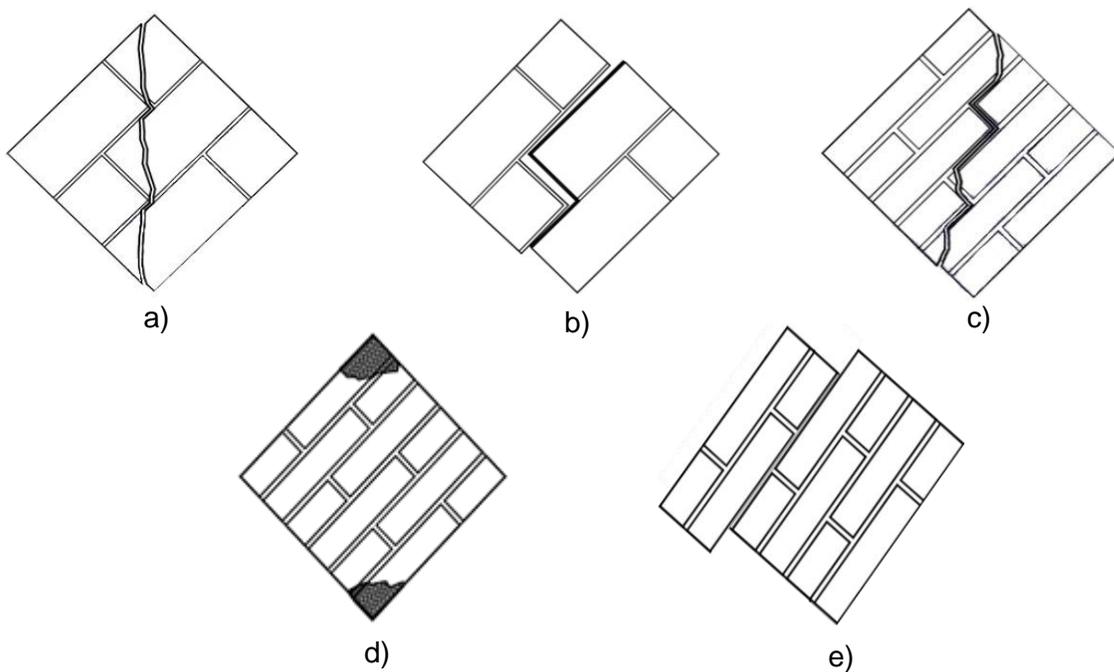


**Figura 7.** Envolvente y tipos de pruebas en especímenes de mampostería [38]

De manera particular tanto la zona 1 como la 2 van dirigidas hacia el comportamiento de la interfaz que existe en la mampostería, sin embargo, la zona 3 y 4 conllevan el comportamiento de la mampostería en sí como el material. Para poder realizar esta curva es necesario recabar la información de los valores que se obtienen de realizar las pruebas respectivas de cada zona.

La ONNCCE sólo proponen tres de éstos ensayos (zona 2 - 4) [13, 39], y esta investigación sólo se enfocará en la prueba de ensayo a compresión diagonal, donde es importante mencionar que dentro de cada zona se desenvuelven modos de falla específicos respectivos al ensaye.

La información que brinda la NMX – C – 464 [13] sobre los tipos de falla se presentan en el inciso a) – d) de la **Figura 8** así como el inciso e), muestra otro tipo de falla que no especifica la normativa, pero se muestra en la investigación de Baqueiro [16].



**Figura 8.** Tipos de fallas en muretes de mampostería a compresión diagonal, falla: a) Por tensión diagonal, b) De cortante, c) Combinada y d) Por aplastamiento de las esquinas [13] e) Deslizamiento [16]

La descripción detallada de cada tipo de falla y sus respectivas causas proporciona un amplio panorama de las variables que intervienen en ella. La falla por tensión diagonal es aquella que atraviesa piezas y juntas, ya que se produce cuando hay una fuerte unión entre las juntas de mortero y las piezas, lo cual ocurre normalmente cuando se utilizan morteros con buena resistencia y/o adherencia, así como piezas porosas y altamente absorbentes. También la relación que hay entre

el volumen del mortero y las dimensiones de la pieza es fundamental, es por lo que cuando se presenta una geometría pequeña en las piezas conlleva una cantidad mayor de mortero, siendo ésta una de las razones que provoca esta falla.

Por su parte, la falla de cortante ocurre debido al deslizamiento entre las piezas a lo largo de las juntas de mortero (adherencia) siguiendo casi la dirección diagonal bajo compresión, en ello pueden existir fracturas en las piezas provocadas por la tensión. Los motivos se deben a la pérdida de sujeción, misma que se asocia con la relación volumen mortero – dimensiones pieza, y causa en esta falla, es tener un área pequeña de contacto en la junta debido a piezas con grandes huecos [13].

Mientras que la falla combinada está descrita por la integración entre la falla por tensión diagonal con la falla de cortante, por lo que las razones pueden ser descritas por: Contacto de junta con un área pequeña (piezas con grandes huecos), relación de área mortero – área piezas muy baja (piezas de gran tamaño), adherencia entre mortero y piezas baja (baja porosidad y absorción de las piezas) y/ o baja adherencia del mortero [13].

La falla por aplastamiento de las esquinas no está admitida debido a que los esfuerzos son aplicados sobre los cabezales del murete que da razón a un ensayo mal ejecutado [13].

Finalmente, la falla por deslizamiento definida por que se produce la falla entre las piezas y el mortero, produciéndose el desprendimiento de una junta horizontal. Uno de los factores que influyen en la adherencia entre bloques y mortero incluyen la dosificación del mortero (cemento – agua), la absorción de agua y rugosidad en los bloques y la calidad de la mano de obra, junto con otros. Para tener una adherencia efectiva, se sugiere utilizar bloques con un porcentaje que oscile entre el 10% y el 20% en la absorción de agua [16].

De la misma manera, siendo la mampostería un material anisotrópico debido a la combinación de los diversos materiales, las fallas de éste, ante los diferentes esfuerzos anteriormente mencionados son también dependientes de los siguientes factores:

- Existencia o no de refuerzo (acero horizontal y/ o vertical, elementos confinantes).
- Relación de forma de los muros.
- Características mecánicas – geométricas – físicas de las piezas incluyendo su rugosidad.
- Tipo y magnitud de la sollicitación.
- Características físicas – mecánicas del mortero.
- Relación entre características mecánicas del mortero y las piezas.
- Nivel de saturación de las piezas al momento de pegarlas [38].

## 2.6.2 Respuesta sísmica de mampostería no reforzada

El comportamiento de los materiales que se usan para la construcción de obras civiles es parte substancial para todo estructurista. La mampostería responde de manera específica cuando se somete a diferentes esfuerzos a lo largo de su vida útil, especialmente durante eventos dinámicos como terremotos o movimientos sísmicos. Una característica clave de este material es su limitada capacidad de tracción, lo que explica muchas de las deficiencias estructurales y fallas observadas en edificios de mampostería sin reforzamiento [20].

Las diferentes fallas de respuesta sísmica de un elemento estructural de mampostería conllevan agrietamientos en el material, sin embargo, las grietas en cuestión a su capacidad de servicio pueden ser inaceptables. No obstante, en la mayoría de los casos no comprometen la estabilidad general de un edificio, y un fenómeno mucho menos predecible es la respuesta fuera del plano de las paredes, dando colapsos parciales como uno de los posibles resultados peligrosos que se pueden tener [20].

### 2.6.3 Ensayos a compresión diagonal

En este capítulo se hizo mención acerca de la definición de la mampostería, material anisotrópico no homogéneo. Derivado de ello, la predicción de precisión del desempeño de los muros de este material con una ecuación que se base con respecto a la mecánica elemental es compleja. Además, la necesidad de ecuaciones predictivas directas, en lugar de formulaciones complejas basadas en la mecánica, condujo a un número significativo de modelos empíricos, donde la fuerza es obtenida de un conjunto de variables geométricas y mecánicas [36].

Es por esta razón que la importancia de los resultados experimentales que arrojan este tipo de investigaciones da continuidad al uso de la calibración de ecuaciones empíricas para poder predecir la resistencia del material [36].

Investigaciones en Pakistán [36] menciona que sobre la existencia de la diversidad de la literatura, la resistencia de la mampostería se concreta en la dependencia de cuatro factores: relación de esbeltez, relación ancho – espesor, resistencia de la pieza y el mortero y la relación entre el ancho y el espesor de la pared (rara vez se considera). A la vez que las relaciones empíricas adicionales, conllevan los siguientes parámetros: la resistencia vertical y horizontal y los módulos de Young y de corte.

La finalidad de ello, es que la propuesta de la ecuación que se genere se pueda utilizar para predecir muros del mismo tipo de pieza regional y otras tipologías de mampostería [36].

Los estudios que se han hecho de formulaciones empíricas sobre la resistencia y rigidez de muros de mampostería en función de la dirección de carga son escasos. El valor que ofrece una investigación como [36], conlleva un tipo de caracterización de mampostería específica de una región. De esta manera se vuelve complejo el desafío de los investigadores, ya que no es sencillo obtener una ecuación predictiva que generalice el comportamiento de la respuesta mecánica de estructuras para la

variedad de mamposterías existentes y que éstas se consideren válidas. Así mismo, se citan diversos investigadores [40-42] en el mismo trabajo [36] y códigos de construcción que plantean ecuaciones empíricas que pueden estimar la resistencia de la mampostería en función de la resistencia de la pieza y del mortero.

Dentro del comportamiento que desenvuelve la mampostería cuando es sometida a esfuerzos de compresión diagonal, existen dos parámetros principales para su análisis. Uno de ellos es la resistencia a compresión diagonal ( $V_m$ ) la cual es necesaria para poder definir el valor de la resistencia a compresión para fines de diseño ( $V'_m$ ), y el otro parámetro, es el módulo de corte ( $G_m$ ). Estos se calculan con base en la NMX-C-464 [13] y las expresiones definidas se muestran en la **Tabla 8**.

Por su parte, en la **Tabla 6** se muestra la especificación 2.8.2.2 de las NTC [26], misma que presenta valores que pueden emplearse como resistencia de diseño a compresión diagonal para edificaciones de mampostería con clasificación Tipo I dependiendo de la pieza a utilizar.

**Tabla 6.** Resistencia de diseño a compresión diagonal para algunos tipos de mampostería, sobre área bruta [26]

Pieza	$V'_m$	
	MPa	Kg/cm <sup>2</sup>
Tabique macizo de arcilla artesanal	0.2	2
Tabique de arcilla extruido	0.2	2
<b>Bloque de concreto</b>	<b>0.2</b>	<b>2</b>
Tabique de concreto (Tabicón)	0.2	2

A pesar de que esta tabla (**Tabla 6**) ya no es válida en la actualización de la NTC 2023 [17], es relevante mencionar el contenido de ella, ya que el valor de resistencia de diseño a compresión ( $V'_m$ ) que tiene en la fila de bloque de concreto es referenciado en la discusión de un resultado experimental de este trabajo.

## 2.7 Expresiones para obtener la resistencia a compresión diagonal y módulo de corte en las diferentes normativas nacionales e internacionales

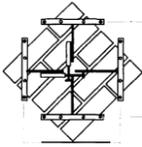
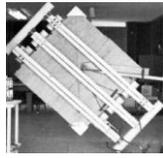
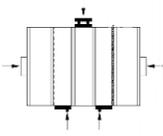
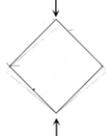
Existen normas técnicas que regulan la resistencia de obras civiles, las cuales son indispensables para el desarrollo adecuado de la construcción. Dichas normativas varían según la región o país donde son aplicadas. En la **Tabla 7** se muestran algunas especificaciones de las diferentes normativas referenciadas, por su parte en la **Tabla 8**, se presenta un resumen de las ecuaciones utilizadas para calcular la resistencia a compresión diagonal (media y de diseño) y el módulo a corte en especímenes de mampostería en los distintos países, entre ellos México (NTC) [17], Estados Unidos de América (ASTM) [43], Canadá (CSA) [44], Australia (AS) [45, 46] e Inglaterra (Eurocode) [21, 47].

Siendo:  $V_m$  = Resistencia a compresión diagonal del murete (MPa o Kg/cm<sup>2</sup>);  $P$  = Carga máxima aplicada (N o Kg);  $L_c$  = Longitud de la diagonal a compresión (mm o cm);  $t$  = Espesor del murete (mm o cm);  $V'_m$  = Resistencia a compresión diagonal para fines de diseño (MPa o kg/cm<sup>2</sup>);  $\overline{V}_m$  = Resistencia media a compresión diagonal de muretes referida al área bruta (MPa o kg/cm<sup>2</sup>);  $C_v$  = Coeficiente de variación de la resistencia a compresión diagonal de muretes;  $G_m$  = Módulo de cortante (MPa o kg/cm<sup>2</sup>);  $\tau_1$  = Esfuerzo cortante correspondiente a 0.00005 de deformación angular (MPa o kg/cm<sup>2</sup>);  $\tau_2$  = Esfuerzo cortante correspondiente al 40% de la carga máxima (MPa o kg/cm<sup>2</sup>);  $\gamma$  = Deformación angular (mm/mm);  $\gamma_2$  = Deformación angular producida por el esfuerzo  $\tau_2$ ;  $\varepsilon_c$  = Deformación unitaria de la diagonal a compresión (mm/mm) ;  $\varepsilon_t$  = Deformación unitaria de la diagonal a tensión (mm/mm) ;  $\delta_c$  = Acortamiento en la dirección paralela a la carga (mm);  $\delta_t$  = Extensión en la dirección perpendicular la carga (mm);  $l_{o_c}$  = Longitud instrumentada, medida antes del ensayo, de la diagonal a compresión medida entre los tornillos de sujeción de los apoyos de transductores (mm);  $l_{o_t}$  = Longitud instrumentada, medida antes del ensayo, de la diagonal a tensión medida entre los tornillos de sujeción de los apoyos

de transductores (mm);  $A_n$ = Área neta (mm<sup>2</sup>);  $w$ = Ancho del espécimen (mm);  $h$ = Altura del espécimen (mm);  $n$ = Porcentaje del área bruta de la unidad que es sólida, expresado como decimal;  $M_f$ = Momento factorizado en la sección considerada;  $V_f$ = Corte mayorado en la sección considerada;  $d_v$ = Profundidad efectiva para cálculos de corte (mm);  $f'_m$ = Resistencia a compresión de la mampostería (MPa);  $0.25 < \frac{M_f}{V_f d_v} < 1$ ;  $A_i$  = Área de la sección transversal de una muestra paralela a las juntas del mortero (mm<sup>2</sup>);  $f_{voi}$ = Resistencia al corte (MPa);  $f_{vo}$ = Resistencia inicial al corte (MPa) y  $f_{vko}$ = Resistencia inicial de diseño al corte (MPa).

El propósito de la elaboración de esta tabla es identificar los errores relativos en el comportamiento a corte de la mampostería entre las diversas normativas antes mencionadas. Una de las normas que destacan, son las australianas, ya que incluyen la consideración de la interfaz del mortero en el área de caras laterales, lo cual ayuda a tener valores del comportamiento antes mencionado considerando este tipo de interfaz. Es con los resultados de estos cálculos que se puede hacer la comparativa de los mismos valores experimentales obtenidos en esta investigación, analizando así la variabilidad de respuestas entre un país y otro.

**Tabla 7. Especificaciones del comportamiento a corte en diferentes normativas internacionales**

<b>Normativa</b>	<b>México</b>	<b>E.U.A.</b>	<b>Inglaterra</b>	<b>Australia</b>	<b>Canadá</b>
	NMX-C-464-ONNCCE-2010 [13]	ASTM E519/E519M [43]	BS EN 1052-3:2002; 772-1:201; Tomažević [21, 47]	AS 3700:2018; ASTM C1391 - Bosiljkov [45, 46]	S304.1 – 04 [44]
<b>Título de la normativa</b>	Industria de la construcción- Mampostería- Determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes	Standard Test Method for Diagonal Tension (shear) in Masonry Assemblages	Determination of initial shear strength	Masonry structures	Design of masonry structures
<b>Tipo de espécimen</b>	Muretes cuadrados (mín. longitud: Pieza y media)	Muretes cuadrados (mín. 120 x 120 cm)	Triplete	Murete (80 x 80 cm)	Murete
<b>Imagen</b>					_____
<b>Diferencias</b>	La resistencia se calcula con base en la colocación en área neta, no contempla la colocación del mortero en área de caras laterales	_____	_____	Sí contempla la colocación del mortero en área de caras laterales	_____
<b>Forma de obtener parámetros</b>	Vía experimental				Manera analítica
<b>Otras especificaciones</b>	Se puede tomar un valor de $V'_m = 0.2$ MPa para edificaciones de mampostería Tipo I con unidades de bloques de concreto [26]	_____	Mínimo nueve especímenes	Para mampostería con unidades de arcilla, hormigón o silicato de calcio se debe tener un valor de $0.15 < V'_m < 0.35$ MPa	_____

**Tabla 8.** Expresiones para obtener resistencia a compresión diagonal y módulo de corte en diferentes normas internacionales.

Normativa	Expresión para obtener resistencia de compresión diagonal	Expresión para obtener módulo cortante
<p><b>México</b>                      NMX-C-464-ONNCCE-2010                      [13]</p>	$V_m = \frac{P}{L_c t}$ $V'_m = \frac{\bar{V}_m}{1 + 2.5 C_v}$	$G_m = \frac{\tau_2 - \tau_1}{\gamma_2 - 0.00005}$ $\gamma =  \varepsilon_c  +  \varepsilon_t $ $\varepsilon_c = \frac{\delta_c}{l_{oc}}; \varepsilon_t = \frac{\delta_t}{l_{ot}}$
<p><b>E.U.A.</b>                      ASTM E519/ E519M                      [43]</p>	$V_m = \frac{0.707 P}{A_n}$ $A_n = \left( \frac{w + h}{2} \right) t * n$	$G_m = \frac{V_m}{\gamma}$ $\gamma = \frac{\delta_c + \delta_t}{l_{oc}}$
<p><b>Inglaterra</b>                      BS EN 1052-3:2002;                      772-1:2011                      [21, 47]</p>	$f_{vko} = 0.8 * f_{vo}$ $f_{voi} = \frac{P}{2 * A_i}$	$G_m = 0.4 E$
<p><b>Australia</b>                      AS 3700:2018; ASTM                      C1391                      [45, 46]</p>	$V'_m = \frac{P}{\sqrt{2} ht}$	$G_m = \frac{V_m}{\gamma}$ $\gamma = \left( \tan \alpha + \frac{1}{\tan \alpha} \right) \left( \frac{\delta_c + \delta_t}{2 L_c} \right)$
<p><b>Canadá</b>                      S304.1 – 04                      [44]</p>	$V_m = 0.16 \left( 2 - \frac{M_f}{V_f d_v} \right) \sqrt{f'_m}$ $0.25 \leq \frac{M_f}{V_f d_v} \leq 1$	<p style="text-align: center;">—————</p>

## 2.8 Conclusiones parciales

- La mampostería se definió como un material de construcción de gran importancia y demanda tanto a nivel mundial como nacional. Lo anterior es debido a que la diversidad de problemáticas que se manifiestan en los materiales de construcción varía diariamente.
- La caracterización de materiales tiene como objetivo clasificarlos y evaluar su cumplimiento para con las normativas.
- Existen diferentes modos de falla de elementos de mampostería cuando son sometidos a la diversidad de esfuerzos que se dan en el periodo de vida útil.
- El comportamiento de las fallas no sólo es dependiente de la distribución de esfuerzos que está actuando en el material sino también de la caracterización de la pieza y el mortero. Además, hay investigaciones que mencionan la influencia que tiene la forma de colocación de la junta para esfuerzos a compresión, por lo que es de interés conocer la respuesta de ello ante los diferentes tipos de esfuerzos, en este caso el cortante.
- La compatibilidad entre las normativas de Estados Unidos de América y Australia con la normativa mexicana se evidencia en las ecuaciones utilizadas, las cuales comparten variables similares en sus cálculos.

# CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

# **CAPÍTULO III**

## **METODOLOGÍA**

### **3.1 Introducción**

El desarrollo de la experimentación que se llevó a cabo en la presente investigación está basado en el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación S.C. (ONNCCE). Por consiguiente, éste, establece la modelación experimental que involucra la descripción de la materia prima necesaria para construir los muretes, así como las herramientas e instrumentación necesarias para llevar a cabo el proceso.

Como un primer nivel, se presentará en este capítulo los materiales que se necesitaron para el desarrollo de la experimentación. Dónde se muestra detalladamente la caracterización de la materia prima utilizada para la construcción de especímenes (muretes). También se describen los equipos y las herramientas necesarias e indispensables para llevar a cabo la preparación y el desarrollo de los ensayos que se realizaron.

Como segunda parte, se mencionan los métodos de preparación que se realizaron para los diferentes ensayos mismos que son establecidos en las diferentes normas por la ONNCCE [13, 25, 28, 31, 32, 48-52].

Dentro del desarrollo de la metodología se utilizaron 3 softwares para lograr los objetivos específicos de la investigación, uno de ellos es Design Expert 11 [53], el cual se empleó para la concepción del diseño experimental. Para las hojas de

cálculo, así como para la realización de gráficas se utilizó Microsoft Excel [54]. Finalmente, se empleó IBM SPSS Statistics [55] para llevar a cabo el análisis estadístico y comparativo de los resultados obtenidos en los ensayos de los muretes (resistencia a compresión diagonal).

## **3.2 Materiales**

### **3.2.1 Materia prima**

Toda la materia prima se manufacturó en el estado de Nuevo León y para el desarrollo de la modelación experimental se requirió un aproximado de 150 piezas de bloques de concreto con dos huecos. De los cuales se utilizaron 68 bloques para el prototipo de 15 especímenes (muretes) de 3 hiladas con junta en el área neta y 6 bloques extra para la verificación de las NMX-C-404 [25] del primer lote. Como segundo prototipo, de igual manera se utilizaron 68 bloques para 15 muretes de 3 hiladas con junta en área de caras laterales y 3 bloques extra para la verificación de las NMX [25] del segundo lote.

Además del mampuesto a utilizar, para la elaboración del mortero se necesitó cemento Portland Compuesto (CPC) 30R, arena de río No. 5 y agua, siguiendo las especificaciones que establecen la NMX-164 [56]. Mientras que para el cabeceo de los cilindros de mortero y los ensayos de resistencia a compresión de bloques se requirió azufre y ceniza volante.

El ultimo material que se necesitó para el ensayo de resistencia a compresión diagonal es el yeso, ya que éste se encuentra en la unión de cabezal y murete.

### 3.2.2 Equipo y herramientas

Para poder realizar la experimentación en el laboratorio, fueron necesarios diversos equipos y herramientas que se utilizaron durante el desarrollo de las pruebas, las herramientas que se usaron son: cinta métrica, vernier, báscula, máquina de soldadura, cuchara plana (cuchara de albañil), nivel (tamaño grande y dos niveles chicos), moldes de cubos (5 cm x 5 cm), briquetas y cilindros (h = 15 cm y D = 7.5 cm) para el mortero, cabezales de distribución de carga para los muretes (cabezales metálicos), Transductores de Diferencial Lineal Variable (LVDT), strain gauges (EA-06-20CBW-120 y EA-06-500BH-120), marcos metálicos para el soporte de los dispositivos de medición (LVDT) y marco de carga.

Por otro lado, los equipos que se necesitan son: máquina Universal Tinius Olsen (capacidad 200 ton), máquina Instron 600DX (capacidad 60 ton), adquisidor de datos (Wheatstone bridge), celda de carga (100 ton) y un gato hidráulico.

## 3.3 Métodos de preparación y ensaye

- I. Almacenamiento de materia prima en el laboratorio a temperatura ambiente.
- II. Caracterización de los materiales componentes de la mampostería.

Bloque:

- Especificaciones y métodos de ensayo para bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural, NMX-C-404-ONNCCE-2012 [25].
- Método de ensayo resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines, NMX-C-036-ONNCCE-2013 [31].

- Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones, NMX-C-037-ONNCCE-2013 [28]. La absorción de agua es un parámetro muy importante que influye significativamente en la unión de la mampostería y el mortero [27].
- Método de ensayo determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones, NMX-C-038-ONNCCE-2013 [50].

#### Mortero:

- Preparación de probetas de mortero: Cilíndricas, cúbicas y briquetas, NMX-C-061-ONNCCE [32], ASTM C307 – 03 [33] y ASTM C39 [57].
- Preparación de cabeceo para probetas cilíndricas con dosificación de azufre - ceniza volante 2:1, NMX-C-109-ONNCCE [48].

III. Carga de los detalles de configuración e instrumentación.

IV. Elaboración de especímenes de mampostería.

#### Muretes:

- Determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto, NMX-C-464-ONNCCE-2010 [13].

#### Construcción de muretes:

- Las dimensiones de la altura del murete deben ser igual a su longitud con una tolerancia del  $\pm 5\%$ .
- El espesor del mortero en las juntas debe ser el mínimo que permita una capa uniforme de mortero y la alineación de la pieza. Si se usan piezas de fabricación mecanizada, el espesor de las juntas horizontales no debe exceder de 12 mm y el espesor mínimo es de 6 mm.

### 3.4 Técnicas de análisis

#### 3.4.1 Diseño experimental

El diseño experimental es la continuación del planteamiento de una hipótesis científica para un trabajo de investigación. Consiste en determinar las características cuantitativas y cualitativas de los procesos de evaluación mediante métodos experimentales o simulaciones computacionales que son planteadas para corroborar y comprobar una hipótesis.

El diseño experimental empleado, cumple con una estructura adecuada a la situación que se desea estudiar y a los medios disponibles [58], por lo que se desarrollaron de siguientes pasos:

- I. Planteamiento general del problema y de los objetivos que se persiguen.
- II. Definición de las variables de entrada.

Las variables dependientes (de entrada), que se emplearon en la presente investigación fueron las siguientes:

- Tipo de interfaz: Área neta/ Área de caras laterales
- Tipo de bloque: Bloque hueco de concreto
- Especificaciones del bloque: Bloque de dos celdas con dimensiones de 15 x 20 x 40 cm (espesor x altura x largo).
- Resistencia a compresión del BHC: Resistencia media (mínimo de 7 MPa)
- Tipo de mortero: Tipo I
- Espesor del mortero: 10 mm

- III. Selección y definición de las variables de respuesta.

A través de estas variables se conoce el efecto o los resultados de cada prueba experimental, por lo que pueden ser características de calidad de un producto y/ o variables que miden el desempeño de un proceso [59].

Las variables independientes (salida/ respuestas), representan las variables de interés a investigar, definiéndose en este trabajo como:

- Resistencia a compresión diagonal ( $V_m$ )
- Módulo de cortante ( $G_m$ )

- IV. Selección de variables de respuesta, que serán medidas en cada punto del diseño y consecuente la verificación medida de manera confiable.
- V. Determinación de los factores que deben estudiarse o investigarse, de acuerdo con la supuesta influencia que tienen sobre la respuesta.
- VI. Selección de niveles de cada factor, así como el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento, quedando definidos en los siguientes pasos:
  - Realizar la experimentación de acuerdo con el plan previamente establecido en el diseño.
  - Analizar estadísticamente los resultados obtenidos y comprobar si la hipótesis establecida y el modelo de diseño elegido se adecuan a la situación estudiada [60].
  - Realizar las modificaciones oportunas para ampliar o modificar el diseño.
  - Obtener las conclusiones apropiadas [58].

### 3.4.2 Procesamiento de los resultados

Para realizar los cálculos, así como las gráficas de los resultados cuando se realizaron los ensayos de resistencia a compresión (pieza y mortero), resistencia a tensión (mortero) y resistencia a compresión diagonal (muretes), se utilizó el programa de Microsoft Excel. Se tomaron valores parciales de los ensayos respectivos, con base al esfuerzo máximo que tuvo cada ensayo, de los cuales, considerando el 100% el esfuerzo máximo se tomó de cada 5% el valor obtenido para realizar sus gráficas esfuerzo – deformación.

### 3.4.3 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó en el software de IBM SPSS Statistics [55]. De esta manera se detallan los diferentes parámetros estadísticos que se pueden analizar en un conjunto de datos, el caso de este trabajo es la comparación de los dos tipos de colocación del mortero.

Para ello primero se realizó un análisis de distribución normal de Kolmogórov-Smirnov, la prueba de homocedasticidad de varianzas y la prueba T – Student o la prueba U de Mann – Whitney según el resultado de la prueba de homocedasticidad. Con estas diferentes pruebas se determinó si se ajustan o no los resultados de la experimentación a una distribución normal, igualdad de varianzas e igualdad de medias respectivamente.

### 3.5 Procedimiento

Los pasos que se muestran a continuación se llevaron a cabo en el Laboratorio de Estructuras del Instituto de Ingeniería Civil de la UANL para el desarrollo del método experimental de esta investigación:

- I. Diseño experimental cuantitativo y cualitativo de los prototipos de muretes de mampostería necesarios.
- II. Definición del diseño de mezcla del mortero con base a pruebas de granulometría, densidad y absorción del agregado fino [32, 52], así como la dosificación de materiales para clasificar el mortero como tipo I [17].
- III. Cálculo de cantidades necesarios de materiales para contemplar el volumen total del mortero con base al diseño de mezcla previamente realizado, así como también cantidad total bloques.
- IV. Organización y compra de materia prima para llevar a cabo el desarrollo experimental.
- V. Muestreo aleatorio según la ASTM E105\_16 [61] del primer lote de bloques que se necesitaron para los primeros diez prototipos de muretes en área neta, para el segundo y tercer lote de bloques, los veinte diferentes prototipos de muretes restantes, se recurrió a un muestreo sistemático.
- VI. Caracterización de las piezas seleccionadas de los muestreos realizados con anterioridad.
  - Medición de los especímenes con base en la norma NMX-C-038-ONNCCE [50], con una muestra de 100 bloques huecos de concreto.
  - Cabeceo con azufre/ ceniza volante de las piezas que fueron sometidas al ensaye de compresión axial, con base en NMX-C-036-ONNCCE [31].
  - Ensayo de resistencia a compresión de los bloques NMX-C-404-ONNCCE [25], con un total de 9 bloques.

→ Ensayo de absorción a cinco bloques huecos con base en NMX-C-037-ONNCCE [28].

- VII. Corte de bloques necesarios para la construcción de muretes con base a las dimensiones del prototipo establecido anteriormente (pieza y media por hilada).
- VIII. Medición de las cantidades respectivas de cemento, agregado fino y agua para la realización del mortero.
- IX. Preparación (limpiar y engrasar) de los moldes de los especímenes de mortero que se ensayaran, moldes para ensayos de resistencia a compresión (cubos y cilindros) y resistencia a tensión (briquetas).
- X. Elaboración del mortero con los materiales previamente proporcionados.
- XI. Comenzar la construcción de muretes y a su vez, usar el mortero para elaborar los especímenes para su respectiva caracterización.
- XII. Para el proceso de construcción de los muretes, sumergir completamente los bloques en agua potable y dejarlos escurrir de 2 - 3 minutos antes de su colocación.
- XIII. Construir los muretes con los bloques humedecidos y el mortero fresco.
- XIV. Tapar los muretes con bolsas de nylon después de 3 - 4 horas de haberlos construido, con la finalidad tener un curado adecuado, tomando como referencia la investigación de Irak [62]. Dejar reposar 28 días.
- XV. Además, se añade papel film a los diferentes moldes de mortero, pasadas 24 horas de su elaboración, después se retiró el papel de los moldes y se llevó al cuarto de curado por 27 días más.
- XVI. Construcción del marco de carga a la altura deseada con base a las dimensiones de los especímenes y verificación de anclajes.
- XVII. Preparación de herramientas necesarias para llevar a cabo el ensayo de muretes.
- XVIII. Preparación del ensayo de muretes después de los 28 días de construcción (mediciones de las dimensiones del espécimen, movilidad de especímenes a la zona de ensayo, unión de murete – cabezal con yeso y anclaje del marco metálico que soportan los transductores (LVDT) y finalmente medición de las

longitudes del marco metálico). Previamente, antes del ensayo se realizaron las conexiones en el adquirente de datos (celda de carga y LVDT).

- XIX. Finalizando el ensayo se obtuvieron los resultados, datos que da la celda de carga, así como los desplazamientos que se obtienen a través de los LVDT. Dada esta información se procesó y limpió, recopilando los valores cada 5% desde el inicio del ensayo hasta el 100% de su carga máxima. Después se procedió a hacer los cálculos de los parámetros mecánicos del comportamiento a corte con base la normativa mexicana vigente [13]. Posteriormente, se obtuvo la curva esfuerzo – deformación.
- XX. Obtenidas las curvas correspondientes a ambas formas de colocación del mortero, se procedió al análisis estadístico en el software IBM SPSS [55]. De los resultados obtenidos de las diversas pruebas estadísticas se estableció el ajuste de datos o no a los parámetros evaluados.
- XXI. Análisis de la discusión para realizar las conclusiones de los resultados de la investigación, mismo que conlleva el cumplimiento de los objetivos y verificación de la hipótesis establecida.

### **3.6 Pruebas**

Las pruebas que se utilizaron para el modelo experimental de la investigación están basadas en el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE). Las pruebas que se realizaron a los materiales que componen la mampostería (mortero y bloques) se ejecutaron con la finalidad de dejar clasificadas y determinadas las propiedades que estos poseen.

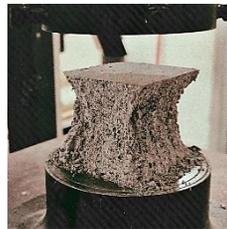
A continuación, se mencionan algunas de las pruebas necesarias que se realizaron previas para el desarrollo del diseño de mezcla del mortero, estas son:

- Agregados para concreto – Determinación del tamaño de partículas en suelos - Análisis granulométrico - Método de ensayo, NMX-C-111-ONNCCE-2014 [63].
- Agregados - Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado fino – Método de ensayo, NMX-C-159-ONNCCE-2011 [64].

Con base a los resultados de las pruebas anteriores, se definió el diseño de mezcla, en el cual se determinó la dosificación de los materiales componentes del mortero. Posteriormente, para la caracterización del mortero se dio seguimiento a las siguientes pruebas, especímenes obtenidos de la fabricación de los muretes de mampostería realizados.

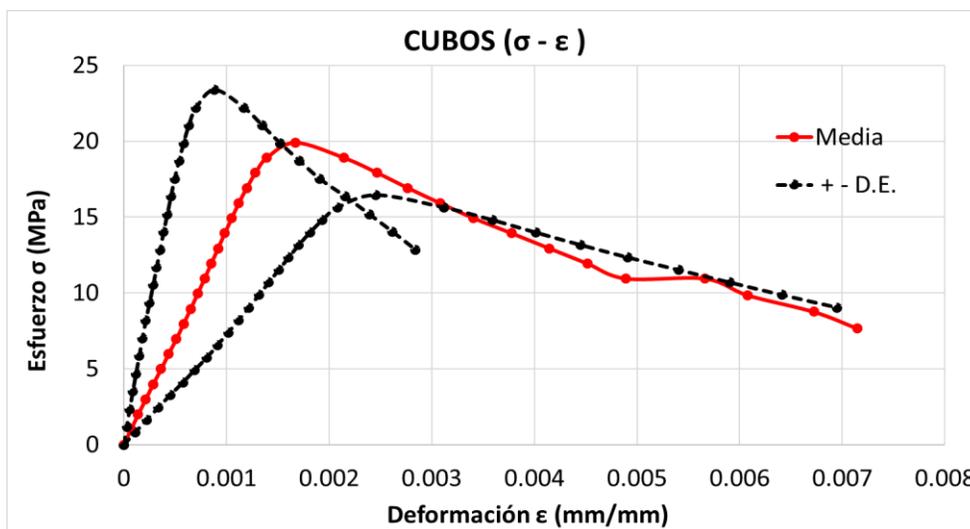
### 3.6.1 Caracterización del mortero

La caracterización del mortero se divide en dos partes, la primera parte es el valor de resistencia a compresión, y por otro lado el valor de resistencia a tensión. Al cumplir con la edad de 28 días en el curado, se procede al ensayo con base en NMX – C – 061 [32], ejecutados en la máquina Instron 600DX. La cantidad de las muestras fueron veintisiete cubos de 5 cm x 5 cm (Ver **Figura 9**).



**Figura 9.** Ensayo de resistencia a compresión del mortero (cubos)

Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica esfuerzo – deformación ( $\sigma - \epsilon$ ) de la **Figura 10**, donde se representa la media  $\pm$  una desviación estándar.



**Figura 10.** Resultados de la resistencia a compresión del mortero con base en la NMX - C - 061 [32]

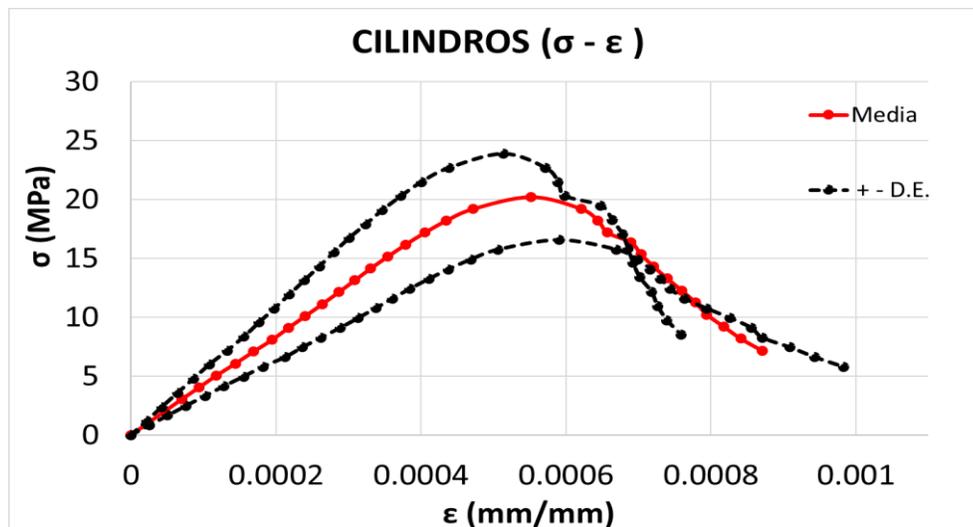
Como resultado final se obtuvo un valor de resistencia máxima media a compresión del mortero de 19.9 MPa con un coeficiente de variación (COV) de 17.43% y por ende una resistencia de diseño de 13.86 MPa. Así como una deformación en el esfuerzo máximo de 0.0017 (mm/ mm), que en comparación con los valores que manejan la NMX – C – 464 mostrados en la **Tabla 5**, el mortero se clasifica como Tipo I. Este valor sobrepasa el valor de resistencia característica de diseño a la compresión en un 10.91%. También se obtuvo un módulo de elasticidad de  $E = 12,258.96$  MPa.

De la misma manera se ensayaron siete cilindros con base en NMX-C-083-ONNCCE-2014 [49] y ASTM C39 [57] con dimensiones de 15 cm de altura y 7.5 cm de diámetro. Estos se ensayaron en la máquina Instron 600DX y a dos de las muestras se le colocaron strain gauges, así como LVDT (ver **Figura 11**).



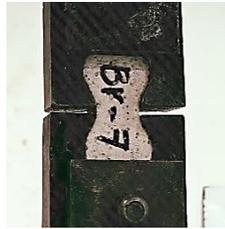
**Figura 11.** Ensayo de resistencia a compresión del mortero (cilindros)

Se alcanzó una resistencia máxima media de 20.2 MPa con COV de 18.09% y una resistencia característica de diseño a la compresión de 13.91 MPa. La deformación al esfuerzo máximo fue de 0.00055 (mm/ mm), indicando casi una tercera parte de la deformación al esfuerzo máximo de los cubos. De esta manera se observa que, la geometría toma un papel importante no solo en la resistencia al esfuerzo sino también en la variabilidad de respuesta que desenvuelve la deformación de la probeta, el comportamiento del esfuerzo – deformación ( $\sigma - \epsilon$ ) se observa en la curva que se muestra en la **Figura 12**.



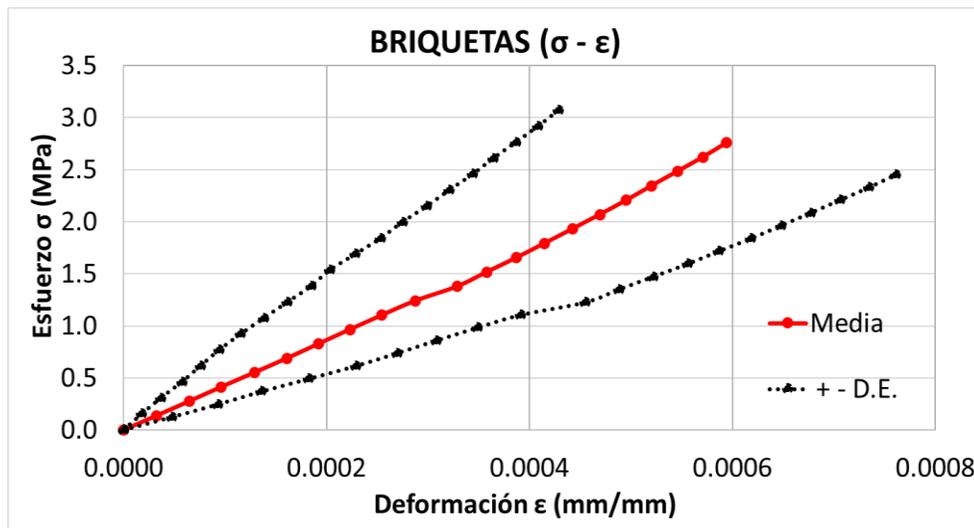
**Figura 12.** Resultados de la resistencia a compresión del mortero con base en la ASTM C39 [57]

Adicionalmente, se ensayaron veintisiete briquetas con base en la ASTM C307 [33], en la máquina Instron 600DX (ver **Figura 13**). Se obtuvo un valor de resistencia media a tensión de 2.46 MPa con un COV de 17.01%.



**Figura 13.** Ensayo de resistencia a tensión del mortero (briquetas)

Este valor medio del esfuerzo a tensión en el mortero tuvo una aproximación del 12% de lo que se presenta el esfuerzo medio a compresión (cubos) y un módulo de elasticidad de  $E = 3,051.17$  MPa. La curva de esfuerzo – deformación ( $\sigma - \epsilon$ ) se presenta en la **Figura 14**.



**Figura 14.** Resultados del mortero sometido a esfuerzos de tensión con base a la ASTM C 307 – 03 [33]

### 3.6.2 Caracterización de los bloques

Para la caracterización de los bloques primeramente se tuvo en cuenta las características geométricas. Se determinaron las dimensiones según [50], especificaciones y método de ensayo según [25] y el peso volumétrico neto mínimo según [17, 26]. Adicionalmente, se determinaron las características mecánicas como: determinación de la absorción [28] y resistencia a la compresión [31] (ver **Figura 15**).



**Figura 15.** *Ensayo de resistencia a compresión en bloques huecos de concreto*

Respecto a las características geométricas, se obtuvo como primer punto las dimensiones las piezas, tomando una muestra de 95 bloques. Los resultados derivados fueron: área bruta ( $A_b$ ) media de 587.68 cm<sup>2</sup> y un área neta ( $A_n$ ) media de 341.16 cm<sup>2</sup> teniendo una relación  $A_n/A_b$  ( $f_{an}$ ) de 0.58.

De la misma manera, la media del espesor de las paredes exteriores es de 27.49 mm y el espesor de las paredes interiores es de 29.25 mm, de tal forma que estos valores cumplieron con el valor mínimo que se presenta en la NTC como se puede observar en la **Tabla 9**.

**Tabla 9.** Clasificación de piezas para fines de la norma [17]

Tipo de pieza para fines de esta norma	Geometría	$f_{an}$ ( $A_n/A_b$ )	Pieza de concreto	
			Pared exterior mín. (mm)	Pared interior mín. (mm)
Maciza	Sin vacíos	1	-	-
	Con siete o menos celdas	> 0.75	20	13
	Multiperforada	> 0.75	20	10
Hueca	<b>Bloques con dos celdas</b>	<b>&gt; 0.5</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
	Con siete o menos celdas	> 0.5	15	13
	Multiperforada	> 0.5	15	10

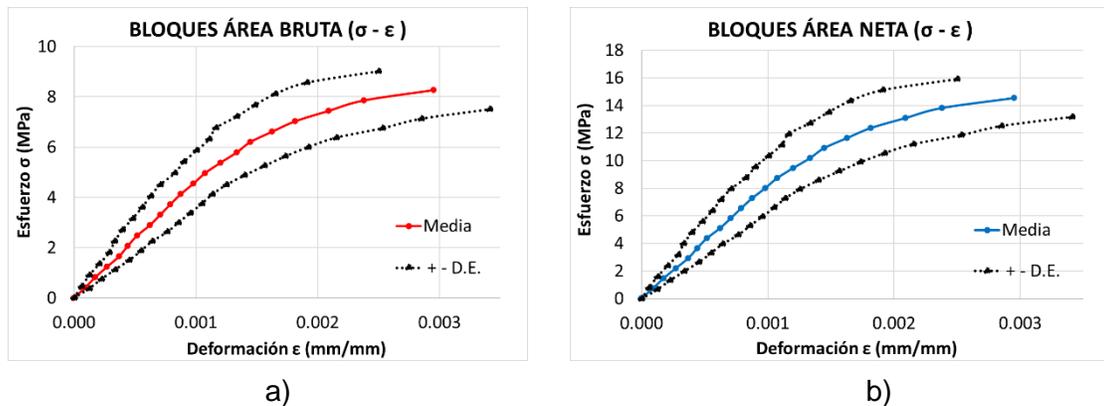
Para la determinación de los parámetros geométricos de las piezas, se definió una muestra de cinco bloques para determinar el peso volumétrico neto. Se obtuvo una media del peso en estado seco de 13.1 kg. Desarrollando el cálculo del peso volumétrico neto de las piezas en estado seco es 2,058 Kg/m<sup>3</sup>, cumpliendo con la norma [26] siendo un 21.06% mayor.

Por otra parte, como se mencionó anteriormente también es necesario determinar las características mecánicas de las piezas que se utilizaron en los muretes, para ello, se obtuvo una absorción total en 24 horas del 5.52%. El valor obtenido fue inferior (un poco más del 50%) al valor máximo permitido que se establece en la norma [25] y que está especificado en la **Tabla 2**, por lo que se evalúa como una absorción aceptable para piezas de concreto.

Por su parte, para la caracterización mecánica de los bloques se ensayaron nueve piezas a compresión axial en la máquina Instron 600DX y dos de ellas en la máquina Universal Tinius Olsen. En las cuales se determinó la resistencia a compresión máxima media con respecto a su área bruta como lo determina la norma [31], siendo esta de 8.55 MPa con un COV de 9.16%. La resistencia a compresión en diseño fue de 6.957 MPa. Siendo un 15.95% mayor a la resistencia de diseño

según la NTC 2023 [17] mostrada en la **Tabla 3**. El módulo elástico fue de  $E = 4,154.80$  MPa.

En la **Figura 16** se presentan los gráficos de las curvas esfuerzo – deformación ( $\sigma - \epsilon$ ) de los resultados obtenidos de la resistencia a compresión axial sobre el área bruta y neta del bloque.



**Figura 16.** Comparación de resistencia a compresión en bloques con respecto al a) Área bruta y b) Área neta

La resistencia a compresión máxima media con respecto a su área neta dio como resultado 15.01 MPa con un COV de 9.16%. Sin embargo, la resistencia a compresión media sobre el área bruta es de 8.55 MPa por lo que no cumple con la especificación de la normativa [25], siendo un 5.00% menor al valor que plantea en ésta ( $\bar{f}_p = 9$  MPa). El módulo elástico obtenido de la curva esfuerzo – deformación es de  $E = 7,312.30$  MPa en el área neta.

### 3.7 Conclusiones parciales

- Los pasos necesarios dentro del marco sistemático para el desarrollo de la investigación se realizaron mediante un diseño de experimentos, que dio seguimiento a cinco pasos metodológicos definidos. Los cuales se definen en el planteamiento del problema, la selección de variables, la experimentación, el análisis estadístico y la obtención de conclusiones.
- Se realizó la caracterización de los materiales componentes de la mampostería (mortero y bloque). Los resultados obtenidos de los ensayos demuestran que cada uno de ellos cumple con las normativas.
- El mortero cumple con la resistencia de diseño a compresión para clasificarse como tipo I con base a la NTC [17] siendo casi un 11% mayor que el valor especificado.
- Los bloques cumplen con los parámetros geométricos para ser considerado de tipo estructural como lo establece la norma [17].
- Respecto a los parámetros mecánicos de los bloques, no cumplen con la resistencia a compresión media de 9 MPa sobre el área bruta [25]. Sin embargo, cumplen con la resistencia mínima individual de compresión (7 MPa) [25]; y también cumple con el valor mínimo de resistencia de diseño a compresión (6 MPa) según la NTC [17], siendo un 15.95% mayor que el resultado del valor mínimo establecido.

# CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

# CAPÍTULO IV

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Introducción

Con base en el capítulo III, a continuación, se darán a conocer los resultados obtenidos en el desarrollo de los ensayos de los muretes. Así como la discusión sobre la comparación de los parámetros mecánicos resultantes de los materiales componentes (mortero y bloque) con respecto a otras investigaciones que se realizaron en la misma institución. Estos resultados son parte de un proyecto que se desarrolla en la institución sobre el comportamiento de la mampostería no reforzada con materiales manufacturados en el estado de Nuevo León.

Dentro de los resultados de los muretes, se llevó un proceso de filtración de los valores obtenidos para tener el número final de medias, desviaciones estándar, así como de coeficientes de variación (COV) de los diversos ensayos hechos. Consecuentemente se muestra la resistencia a compresión diagonal máxima obtenida en colocación del mortero en área neta y área de caras laterales, así como la misma para fines de diseño y el módulo cortante que resultó de las curvas esfuerzo cortante – deformación angular ( $\tau - \gamma$ ). Además, se muestran los tipos de fallas que se presentaron durante la experimentación, así como la falla predominante en los dos diferentes tipos de colocación del mortero. Adicionalmente, se muestra una tabla resumen sobre el análisis de los valores que se obtuvieron a partir de las diferentes expresiones para el comportamiento a cortante en las

normativas internacionales para ambas formas de colocación. Por otra parte, se realizó el análisis estadístico para los parámetros de corte ( $V_m$  y  $G_m$ ) en ambos casos de colocación del mortero.

Como última parte, se realizó la comparación del módulo a cortante obtenido con el módulo elástico que se obtuvieron en las investigaciones [15, 65] en la colocación del mortero en área neta y en la investigación [15] para colocación en área de caras laterales.

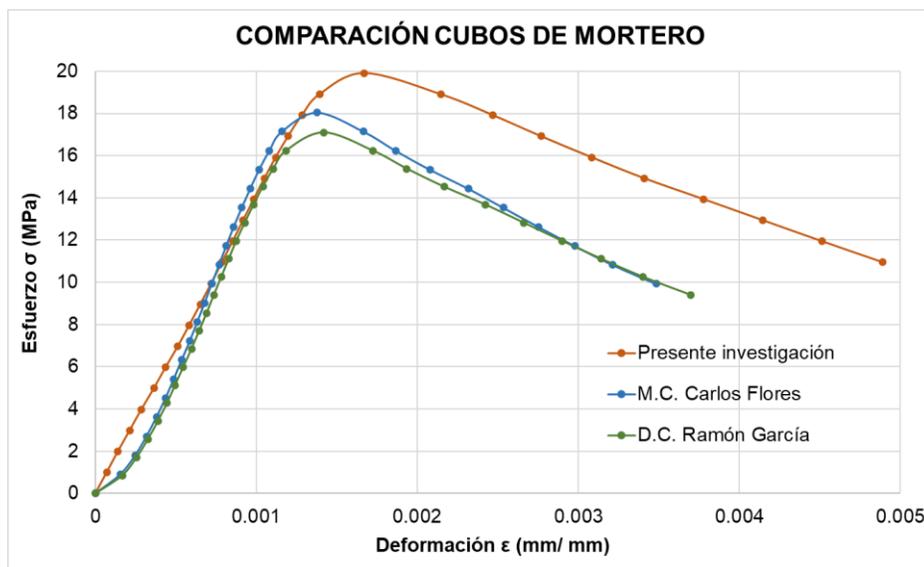
## 4.2 Comparación de la resistencia del mortero con diferentes investigaciones

### 4.2.1 Cubos

La resistencia a compresión del mortero se obtuvo mediante prismas de diferente geometría las cuales se mencionaron en el capítulo III. En este apartado se analizan los valores obtenidos en los cubos de esta investigación respecto a otros trabajos [15, 65]. Esto, con el fin de definir si los parámetros obtenidos presentan errores relativos significativos respecto con los parámetros más importantes del comportamiento de este material: Esfuerzo máximo en resistencia a compresión y deformación máxima

La comparación de la media de los valores de resistencia a compresión en los cubos de mortero de 3 diferentes investigaciones, se presenta en la gráfica de la **Figura 17**. En la **Figura 17** se presentan los resultados de las investigaciones de las referenciadas [15, 65] donde se obtuvo una caracterización de mortero en cubos de 5 cm de lado con la dosificación 1:1:6, cemento, agua y arena

correspondientemente. La dosificación de la presente investigación fue 1:1:6 igual que las investigaciones anteriores mencionadas, las diferencias que se presentan en la **Tabla 10** se debe a las correcciones en la absorción y la mano de obra en la fabricación de la mezcla. Sin embargo, todas las resistencias cumplen para que el mortero clasifique como Tipo I según la NTC [17].



**Figura 17.** Gráfico comparativo de diferentes investigaciones sobre la resistencia a compresión en cubos de mortero

En la **Tabla 10.** Tabla resumen de la comparativa de los cubos de mortero se presenta un resumen con los valores obtenidos de las investigaciones [15, 65].

**Tabla 10.** Tabla resumen de la comparativa de los cubos de mortero

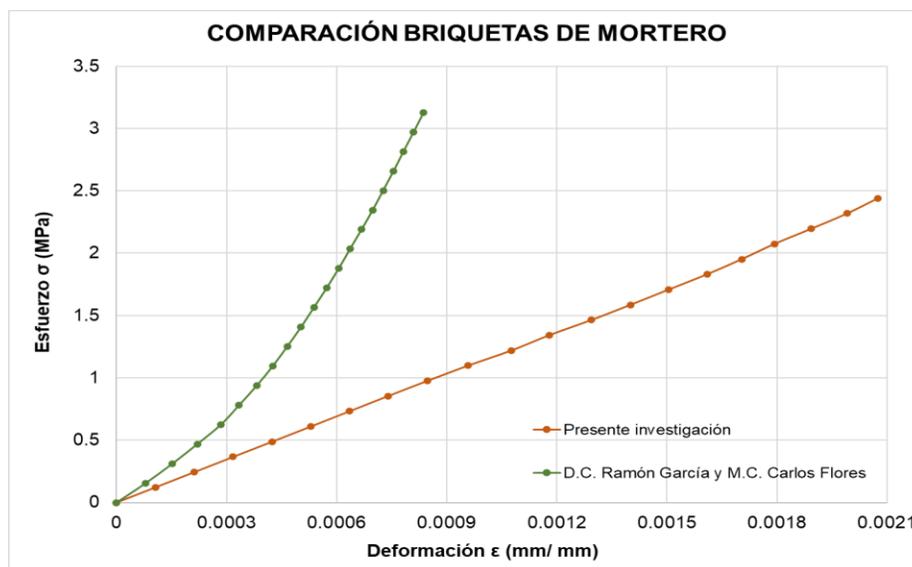
Referencias	Esfuerzo (MPa)			Deformación máx. (mm/ mm)		
	Resultado	Error		Resultado	Error	
		Absoluto	Relativo		Absoluto	Relativo
Presente investigación	19.9039	—	—	0.00489	—	—
D.C. Ramón García [15]	17.0924	2.8115	14.13%	0.00370	0.0012	24.37%
M.C. Carlos Flores [65]	18.0457	1.8582	9.34%	0.00348	0.0014	28.78%

Tanto para el esfuerzo a compresión como para la deformación, los resultados que arrojó la presente investigación fueron mayores respecto a las dos referencias

que se analizaron [15, 65], tomando como referencia para el cálculo de los errores, fue la de la presente investigación.

#### 4.2.2 Briquetas

Para la obtención de la resistencia a la tensión, se ensayaron briquetas. Se realizó una comparación de los resultados obtenidos con la investigación [15, 65]. Los resultados se muestran en la **Figura 18** y la **Tabla 11**.



**Figura 18.** Gráfico comparativo de diferentes investigaciones sobre la resistencia a tensión en briquetas de mortero

**Tabla 11.** Resumen de la comparativa de las briquetas de mortero

Referencias	Esfuerzo (MPa)			Deformación máx. (mm/ mm)		
	Resultado	Error		Resultado	Error	
		Absoluto	Relativo		Absoluto	Relativo
Presente investigación	2.4401	_____	_____	0.00208	_____	_____
D.C. Ramón García [15] y M.C. Carlos Flores [65]	3.1283	0.6883	28.21%	0.00084	0.0012	59.65%

De la **Tabla 11** se obtuvo el error relativo respecto de la media que arrojó esta investigación con respecto a la de los autores [15, 65]. Obteniendo errores relativos altos debido a que el esfuerzo a tensión en el mortero es muy pequeño y una pequeña variación de éste, hacen el aumento considerable en los errores analizados.

#### 4.2.3 Cilindros

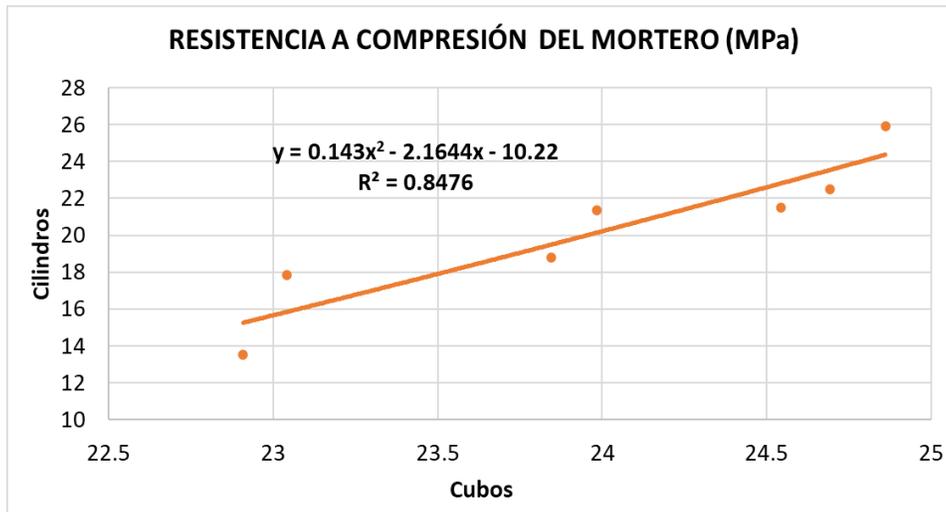
Como se mencionó anteriormente, el mortero se ensayó en dos maneras diferentes, una en esfuerzo a compresión y otra en tensión. Sin embargo, como el desarrollo de la experimentación se dividió en tres secciones diferentes, sólo en la primera de ellas se obtuvo un ensayo del mortero para la resistencia a compresión en cilindros. Con la intención de analizar la relación geométrica entre cubos de 5 cm de lado con cilindros de dimensiones de altura de 15 cm y un diámetro de 7.5 cm.

En los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a compresión en cubos y cilindros, se presenta en la **Ec. 3** la expresión que fue obtenida mediante una regresión lineal simple. De esta forma, se presenta en la **Figura 19** la relación

para obtener la resistencia a compresión del mortero estudiado, en función de la resistencia de los cubos como la variable independiente.

$$y = 0.143x^2 - 2.1644x - 10.22$$

**Ec. 3.** Relación lineal de resistencia a compresión de cubos a cilindros



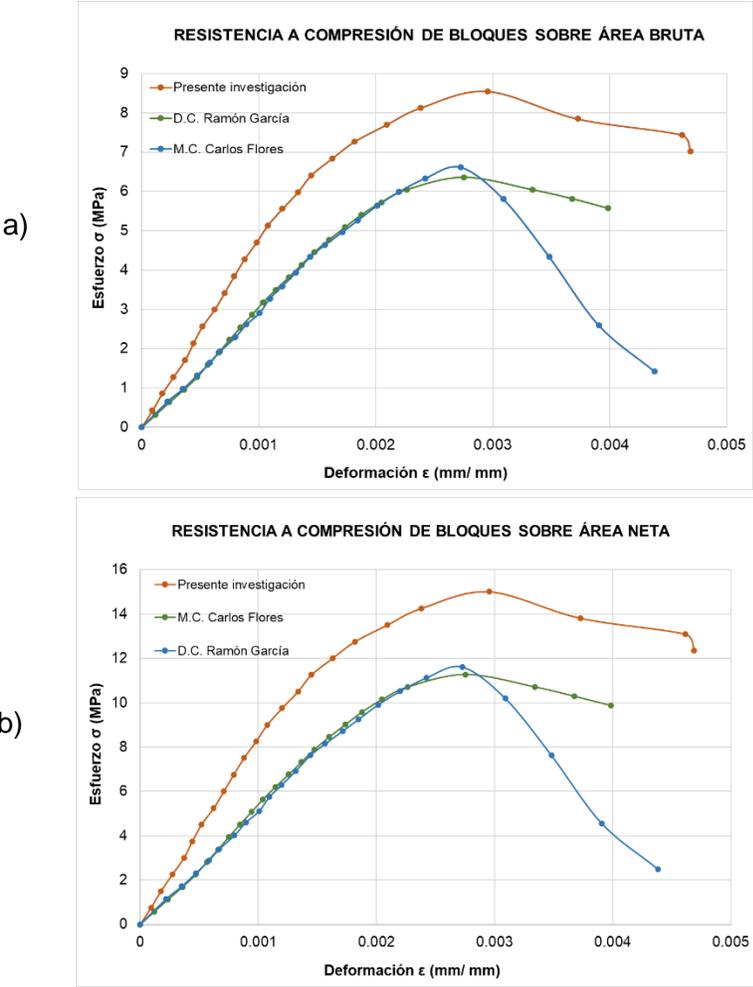
**Figura 19.** Gráfico de relación de la resistencia a compresión entre cubos y cilindros

Esta expresión ayuda a determinar de manera lineal cuál es el valor resultante de la resistencia a compresión en cilindros con la información de la resistencia en cubos, con un ajuste del 85%.

### 4.3 Comparación de resistencia a compresión de bloques de diferentes investigaciones

Los bloques huecos de concreto de dos celdas (No. 6) manufacturados en una empresa destacable del área metropolitana del Estado de Nuevo León, fueron ensayados en la presente investigación así como en otras investigaciones [15, 65], en el departamento de Estructuras del Instituto de Ingeniería Civil de la UANL. Los

resultados obtenidos con respecto a la resistencia a compresión son presentados en las gráficas de la **Figura 20** que visualiza la curva de esfuerzo – deformación de los bloques del mismo proveedor sobre área bruta y área neta.



**Figura 20.** Resistencia a compresión de bloques sobre a)  $A_b$  y b)  $A_n$

Con base a la figura anterior y sus respectivos valores, se muestra en la **Tabla 12** los errores relativos de los valores de resistencia a compresión, tomando como valor de referencia los resultados de esta investigación.

**Tabla 12.** Resumen de la comparativa de la resistencia a compresión de bloques huecos de concreto sobre área bruta y área neta

Referencias	Esfuerzo (MPa)		Deformación máx. (mm/ mm)		
	Resultado		Error relativo	Resultado	Error relativo
	Área bruta	Área neta			
Presente investigación	8.55	15.01	_____	0.00295	_____
D.C. Ramón García [15]	6.36	11.27	24.89%	0.00275	6.78%
M.C. Carlos Flores [65]	6.61	11.62	22.58%	0.00273	7.75%

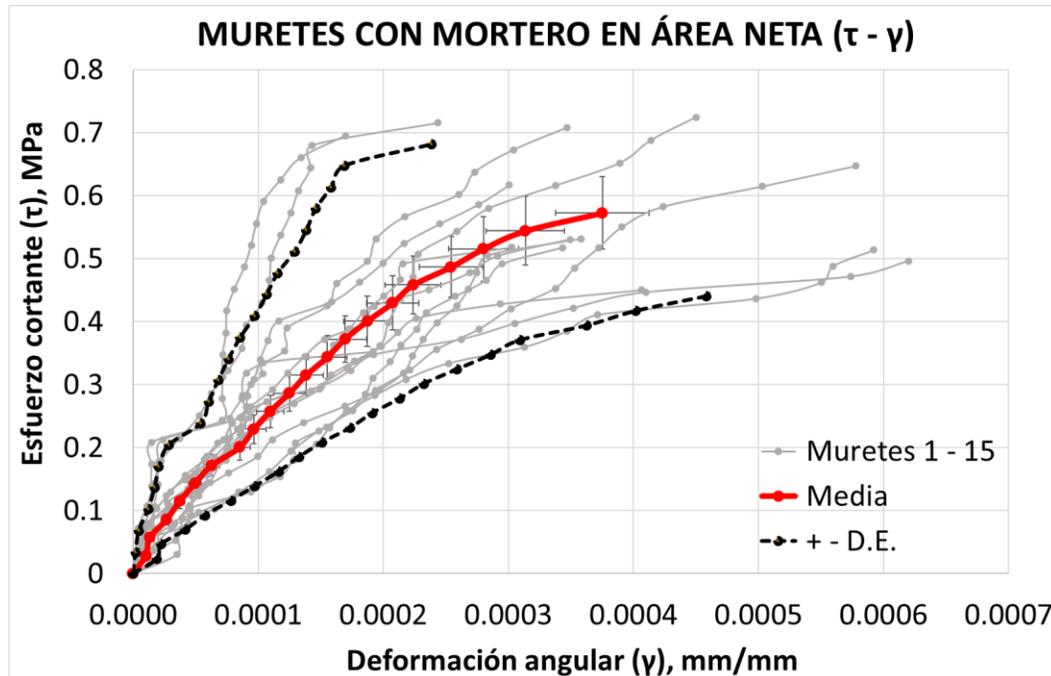
#### 4.4 Muretes

En esta sección se muestran los resultados obtenidos de las pruebas en los muretes con bloques huecos de concreto sometidos al esfuerzo de compresión diagonal. Los ensayos se realizaron en muretes con dimensiones de 60 x 60 cm, de tres hiladas. En total se tuvo una muestra de treinta muretes contemplando los dos diferentes tipos de colocación del mortero (área neta y área de caras laterales) en la junta tanto horizontal como vertical de la unión entre bloques.

##### 4.4.1 Análisis de los muretes con mortero en área neta

De los treinta muretes, quince se ensayaron con las dimensiones anteriormente mencionadas, pero con el tipo de colocación en toda su área neta. El valor obtenido de la resistencia a compresión máxima media fue de 0.566 MPa con un coeficiente

de variación del 19.95%. La resistencia de diseño a compresión diagonal fue de 0.378 MPa. Comparando este valor con el que proporciona la NTC [17] (ver **Tabla 6**), la resistencia de diseño a compresión diagonal obtenida es 88.819% mayor de lo que marcan las normas técnicas, teniendo un error relativo de 47%. La **Figura 21** ilustra las curvas obtenidas de los ensayos de los muretes con el mortero colocado en el área neta.



**Figura 21.** Gráfica esfuerzo - deformación de muretes con mortero en área neta

El módulo a cortante ( $G_m$ ) fue obtenido aplicando la ecuación de la normativa mexicana [44] que se muestra en la **Tabla 8**, dando un valor final de 1,830.56 MPa. Comparando este resultado con el valor de la investigación de Baqueiro, et al. [16] ( $G_m = 1,638.98$  MPa), se obtuvo un error relativo de 11.69%. Esta investigación presenta semejanzas con respecto a la presente investigación. Sin embargo, los errores obtenidos se pueden deber a diferencias tales como: La dosificación del mortero que fue 1:2:7 (cemento Portland: cal: arena) y la resistencia a compresión del mortero fue de 3.7 MPa en [16]. Por otra parte, aunque se utilizaron bloques huecos de concreto de las mismas dimensiones (15 x 20 x 40 cm), éstos fueron de tres celdas.

Adicionalmente a los parámetros mecánicos anteriormente mencionados, se analizaron los tipos de fallas. Como resultados de los ensayos, se observaron cuatro diferentes tipos de fallas durante la experimentación con la colocación del mortero en área neta. En la **Figura 22** se representan las fallas observadas.

Las imágenes que muestran todas las fallas obtenidas en los ensayos de cada espécimen se presentan en el **Anexo A**. En la **Tabla 13** se muestran los porcentajes de las fallas obtenidas para la colocación del mortero colocado en área neta.

**Tabla 13.** *Porcentaje de tipos de fallas en colocación del mortero en área neta*

<b>Tipo de falla</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Tensión diagonal	5.88
Adherencia	29.41
Combinada	<b>58.82</b>
Deslizamiento	5.88
Predominante	<b>Combinada</b>

Como se observa en la **Tabla 13** el tipo de falla predominante fue la combinada, con un 58.82%. Algunas razones por la que este tipo de falla predomine, son deducidas con la base teórica que se planteó en el capítulo II, siendo estas las que se mencionan a continuación:

- Contacto de junta con un área pequeña (piezas con grandes huecos)
- Relación de área mortero (baja) – área piezas (alta), por las piezas de gran tamaño
- Adherencia entre mortero y piezas, baja, ya que la porosidad y absorción de las piezas son bajos.



a)



b)



c)



d)

**Figura 22.** Diferentes tipos de fallas obtenidas en muretes con el mortero colocado en área neta: a) Combinada, b) Adherencia, c) Tensión diagonal y d) Deslizamiento

Los resultados del cálculo de los parámetros mecánicos ( $V_m$  y  $G_m$ ) según las normativas de otros países, empleando las expresiones descritas en la **Tabla 8** se presentan en la **Tabla 14**. Estos cálculos se llevaron a cabo con el propósito de

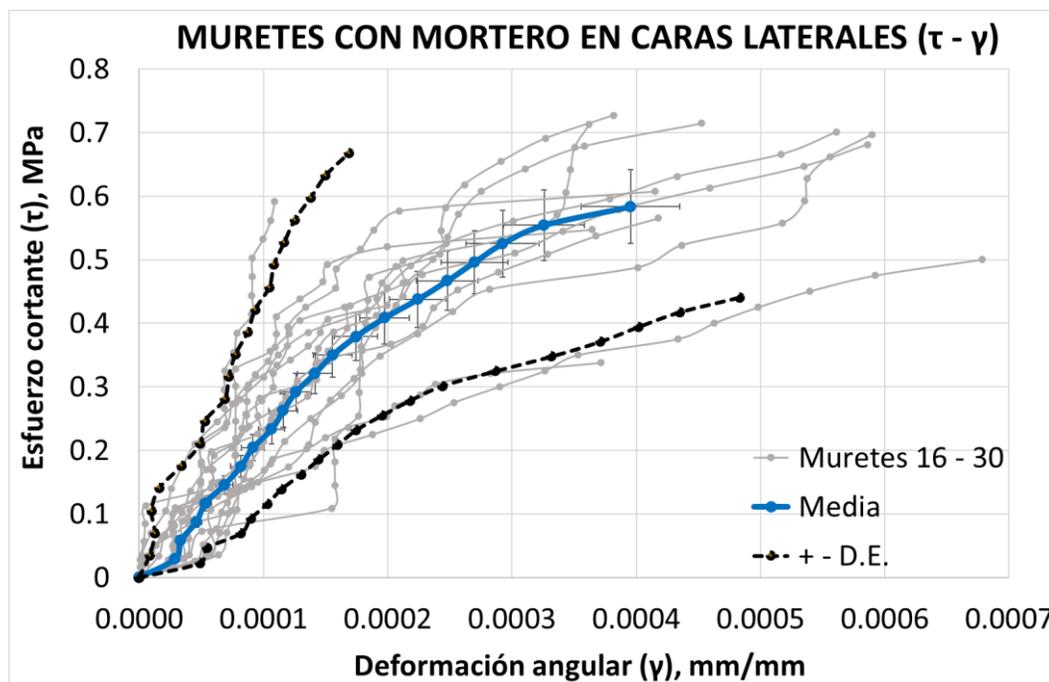
determinar los errores relativos en el esfuerzo a cortante ( $V_m$ ) y módulo a corte ( $G_m$ ) en muretes, considerando la colocación del mortero en área neta. En el caso de la normativa australiana [45, 46], ésta especifica únicamente la colocación del mortero en área de caras laterales, por lo que no se contempló cuando el mortero se colocó en área neta. En términos generales, tanto la resistencia a compresión diagonal ( $V_m$ ) como la resistencia de diseño ( $V'_m$ ) muestran errores relativos moderados. Se sugiere que la normativa ASTM [44], no sea considerada para un análisis comparativo con la NTC [17], ya que presentan un error relativo mucho mayor en comparación de la normativa canadiense [44] como se muestra en la **Tabla 14**.

**Tabla 14.** Cálculo de la resistencia a compresión diagonal y módulo cortante para distintas normas cuando el mortero es colocado en área neta

<b>Área neta, MPa</b>				
<b>Resistencia a compresión diagonal (<math>V_m</math>) y resistencia de diseño a compresión diagonal (<math>V'_m</math>)</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Mexicana (NTC) [17]</b>	<b>E.U.A. (ASTM) [43]</b>	<b>Canadiense (CSA) [44]</b>	<b>Británica (Eurocode) [21, 47])</b>
Media	0.5659	1.0250	0.5704	0.2908
Error relativo		81.11%	<b>0.79%</b>	48.62%
Diseño	0.3776	1.0581	0.4848	0.2326
Error relativo		180.18%	<b>28.38%</b>	38.39%
<b>Módulo a cortante (<math>G_m</math>)</b>				
Valor	1830.5601	2651.4656	—————	1047.9804
Error relativo		44.84%	—————	42.75%

#### 4.4.2 Análisis de los muretes con mortero en caras laterales

Los otros quince muretes se ensayaron con el tipo de colocación en el área de las caras laterales. El valor medio obtenido de la resistencia a compresión máxima fue de 0.594 MPa con un coeficiente de variación del 20.68%. La resistencia de diseño fue de 0.392 MPa. En la **Figura 23** se presentan las gráficas esfuerzo-deformación de los resultados obtenidos en los ensayos de los muretes con el mortero colocado en el área de caras laterales.



**Figura 23.** Gráfica esfuerzo - deformación de muretes con mortero en área de caras laterales

De acuerdo con los resultados previos, se observa que la resistencia a compresión diagonal de los muretes con mortero en las caras laterales es prácticamente similar a las obtenidas cuando el mortero se aplica en el área neta. Estas diferencias son consideradas como poco significativas (2.8%), tomando en cuenta el valor promedio de las mediciones realizadas. Debido a que la NTC [26] no particulariza los distintos métodos de aplicación del mortero en la mampostería, el

valor de resistencia al que esta norma se refiere es cuando el mortero se aplica en área neta. Por lo tanto, al comparar el valor obtenido con el proporcionado por la NTC 2017 [26] (**Tabla 6**) para la resistencia de diseño a compresión diagonal (0.2 MPa para área neta), en edificaciones de mampostería Tipo I, se tiene un error relativo del 49%.

Por otro lado, el parámetro mecánico de módulo a cortante resultó tener un valor de 1,965.58 MPa con un coeficiente de variación del 25.16%.

Las fallas resultantes en la experimentación se muestran en la **Figura 24**. Cómo se puede observar en ésta, se manifestaron solamente tres tipos de falla en estos prototipos: Falla por adherencia, combinada y por deslizamiento.



a)



b)



c)

**Figura 24.** *Diferentes tipos de fallas obtenidas en muretes con el mortero colocado en área de caras laterales: a) Adherencia, b) Combinada y c) Deslizamiento*

Las fotografías de todas las fallas resultantes en la experimentación se encuentran en la sección de **Anexo B**. En la **Tabla 15** se presenta el porcentaje respectivo al tipo de falla de los dieciséis muretes ensayados.

**Tabla 15.** *Porcentaje de tipos de fallas en los muretes ensayados con la colocación del mortero en área de caras laterales*

<b>Tipo de falla</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Tensión diagonal	0.00
Adherencia	<b>47.06</b>
Combinada	29.41
Deslizamiento	17.65
Predominante	<b>Adherencia</b>

Como se observa en la **Tabla 15**, cuando el mortero es colocado en el área de las caras laterales predominó la falla por adherencia. En este contexto, este tipo de falla se manifiesta a través de la separación en la interfaz que existe entre el mortero y las piezas. El despliegue de la pieza – mortero se debe a una distribución heterogénea de esfuerzos en la mampostería, llevando a una contribución casi nula/nula por parte de la pieza (las piezas no desarrollaron deformaciones a la par que el mortero) y, por ende, teniendo esfuerzos generados en la interfaz con una mayor contribución.

En la **Tabla 16** se presentan los resultados de los cálculos que se hicieron con las expresiones de la **Tabla 8**. Como se mencionó anteriormente, únicamente la normativa australiana (AS) [45, 46] contempla este tipo de colocación, por lo que para las otras normativas se emplearon las mismas expresiones que para la colocación de en colocación del mortero en área neta.

**Tabla 16.** Cálculo de la resistencia a compresión diagonal y módulo cortante para distintas normas cuando el mortero es colocado en área de caras laterales

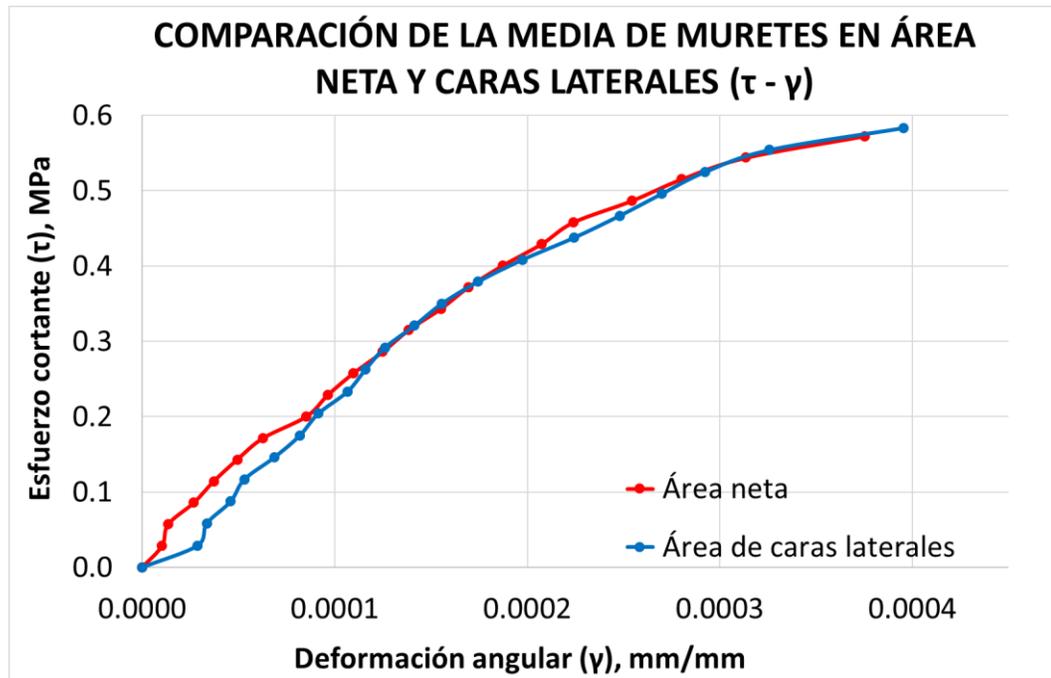
<b>ÁREAS EN CARAS LATERALES, MPa</b>					
<b>Resistencia a compresión diagonal (<math>V_m</math>) y resistencia de diseño a compresión diagonal (<math>V'_m</math>)</b>					
Parámetro	Mexicana (NTC) [17]	E.U.A. (ASTM) [43]	Canadiense (CSA) [44]	Británica (Eurocode) [21, 47]	Australiana (AS) [45, 46]
Media	0.5945	1.0739	0.5750	0.2883	0.5902
Error Relativo		80.65%	3.28%	51.50%	0.71%
Diseño	0.3918	1.1086	0.4840	0.2307	0.4769
Error Relativo		182.91%	23.52%	42.68%	22.52%
<b>Módulo a cortante (<math>G_m</math>)</b>					
Valor	1965.5832	2681.3950		1278.6924	2567.0804
Error Relativo		36.42%	—————	34.95%	22.43%

Como se observa en la tabla anterior, las normativas ASTM [43] y EUROCODE [21, 47] en la resistencia de compresión diagonal, así como la de diseño tuvieron errores relativos significativamente altos en comparación con la AS [45, 46] y CSA [44]. De la misma manera el análisis del módulo a cortante, las tres normativas tienen errores considerables ya que son cercanos al 30%.

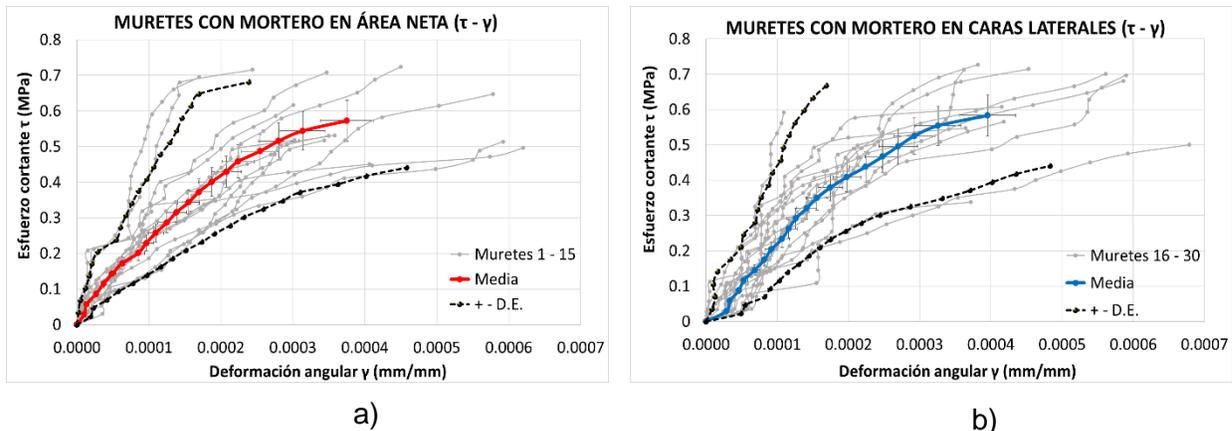
Como recomendación, si se desea hacer un análisis del comportamiento a corte de la mampostería en la colocación del mortero en área lateral se recomienda utilizar las normativas australianas. Debido a que no solo lo toma en consideración desde el principio de las expresiones si no que en comparación con los resultados de la experimentación se aproxima a los valores que se obtuvieron de las NTC.

#### 4.5 Análisis comparativo de muretes entre el mortero colocado en área neta y caras laterales

Se muestran en la **Figura 25** y la **Figura 26**, presentando los resultados del comportamiento a corte de la mampostería en la comparación de los dos tipos de colocación del mortero. En la **Figura 25** se comparan las medias obtenidas entre colocación del mortero en área neta y área de caras laterales, donde se puede apreciar gráficamente que no presentan diferencias significativas.



**Figura 25.** Gráfica comparativa de esfuerzo – deformación de muretes en área neta y cara lateral



**Figura 26.** Gráficas comparativas de muretes en la misma escala con colocación en a) Área neta y b) Área de caras laterales

La **Figura 26** muestra la diferencia en los gráficos obtenidos de resistencia a compresión diagonal entre los muretes con colocación del mortero en área neta y los de área de caras laterales. Esta variación fue de 5.040% menor con la colocación del mortero en área neta que en área de caras laterales.

Por otra parte, el módulo cortante fue un 7.376% menor el tipo área neta que área de caras laterales. Por otro lado, la deformación en el esfuerzo máximo entre presentó un error relativo de 9.19%. Los valores correspondientes a los parámetros mecánicos ( $\tau$ ,  $G_m$  y  $\gamma$ ) se pueden observar en la

**Tabla 17.**

La investigación de Tatheer [12] plantea la diferencia de la resistencia a compresión en pilas de bloques de concreto con respecto a la eficiencia entre el uso de piezas macizas y huecas. Así como también la variación de colocación del mortero en la mampostería estudiada, mencionando la eficacia de ello. Como principal conclusión de ese estudio [12], se planteó que para los bloques macizos es más conveniente la colocación del mortero en toda el área del bloque (área neta) y para los bloques huecos es más eficiente la colocación del mortero en el área de caras laterales para esfuerzos a compresión. Sin embargo, en la presente investigación y el análisis que se ha realizado hasta el momento acerca de las fallas presentadas en los muretes con los dos tipos de colocación del mortero, se

discrepa. Puesto que, cuando la mampostería es de bloques huecos y trabajará a cortante, la colocación del mortero no debe colocarse en el área de caras laterales

**Tabla 17.** Resumen de los parámetros mecánicos que componen el comportamiento a corte en muretes de mampostería con dos tipos de colocación<sup>1</sup>

Muretes							
Área neta				Área de caras laterales			
No.	Esfuerzo a corte ( $\tau$ )	Módulo cortante ( $G_m$ )	Deformación angular máx. ( $\gamma$ )	No.	Esfuerzo a corte ( $\tau$ )	Módulo cortante ( $G_m$ )	Deformación angular máx. ( $\gamma$ )
<b>M1</b>	0.45	1859.26	0.00041	<b>M18</b>	0.71	1588.05	0.00045
<b>M2</b>	0.53	2374.06	0.00035	<b>M19</b>	0.55	2994.89	0.00036
<b>M3</b>	0.70	-	-	<b>M20</b>	0.70	2259.28	0.00056
<b>M4</b>	0.62	2243.19	0.00030	<b>M21</b>	0.70	2343.51	0.00059
<b>M5</b>	0.53	1302.08	0.00036	<b>M22</b>	0.57	1862.97	0.00042
<b>M6</b>	0.52	1301.78	0.00034	<b>M23</b>	0.73	1715.10	0.00038
<b>M7</b>	0.50	1937.76	0.00062	<b>M24</b>	0.76	-	-
<b>M8</b>	0.41	-	-	<b>M25</b>	0.50	1344.75	0.00068
<b>M9</b>	0.51	1065.66	0.00059	<b>M26</b>	0.71	2921.55	0.00036
<b>M10</b>	0.65	1289.62	0.00058	<b>M27</b>	0.52	2088.47	0.00028
<b>M11</b>	0.69	1633.52	0.00017	<b>M28</b>	0.68	1568.75	0.00059
<b>M12</b>	0.35	2418.62	0.00019	<b>M29</b>	0.61	1490.82	0.00059
<b>M13</b>	0.52	1451.95	0.00030	<b>M30</b>	0.59	1583.53	0.00041
<b>M14</b>	0.72	1961.68	0.00045	<b>M31</b>	0.43	1624.77	0.00011
<b>M15</b>	0.71	1895.30	0.00035	<b>M32</b>	0.43	2357.87	0.00020
<b>M16</b>	0.72	2893.37	0.00024	<b>M33</b>	0.34	1739.44	0.00017
<b>M17</b>	0.49	-	-	<b>M34</b>	-	-	-
<b>Media</b>	0.566	1830.560	0.00038		0.594	1965.583	0.00041
<b>Desv. Est.</b>	0.11	506.63	0.00		0.12	494.56	0.00
<b>COV</b>	19.95%	27.68%	36.41%		20.68%	25.16%	40.29%

<sup>1</sup> Aclaración: Esta tabla se ha elaborado con base en todos los resultados experimentales obtenidos. Las muestras que no muestran valores de módulo de corte y deformación angular corresponden a especímenes que se utilizaron en otra investigación, puesto que no se realizaron mediciones con LVDT para obtener los desplazamientos respectivos en cada ensayo. En consecuencia, solo se registró la carga máxima y el tipo de falla en estos elementos.

#### 4.5.1 Análisis estadístico (SPSS)

El análisis estadístico se realizó con un nivel de confiabilidad del 95%, por lo tanto, el nivel de significación ( $\alpha$ ) fue igual a 0.05. Este nivel de significación fue comparado con el  $P_{value}$  de las pruebas estadísticas en función del planteamiento de las hipótesis nulas. En ese sentido, las hipótesis nulas planteadas fueron las de igualdad de varianzas, medias y ajuste a la distribución normal. A continuación, se muestran los resultados de las tres pruebas estadísticas realizadas en los parámetros de resistencia a compresión diagonal y en el módulo a cortante.

El análisis de distribución normal es uno de los más utilizados en la práctica, ya que la variable normal está completamente determinada por dos parámetros importantes (media y desviación estándar). Así como, el análisis de esta prueba permite resolver preguntas de probabilidad sobre el comportamiento de variables [66]. Para ello se realizó una prueba de Kolmogórov – Smirnov.

En la **Figura 27** se muestran los resultados de la prueba de normalidad cuando el mortero es colocado en área neta. Los resultados para la resistencia a compresión diagonal ( $\tau$ ) y el módulo a cortante, fueron  $P_{value} = 0.056$  y 0.2 respectivamente. En ambos casos se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ), por lo que los parámetros se ajustan a la distribución normal.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra			Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra				
		T_FF			Gm_FF		
N		17	N		14		
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	0.5660	Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	1,830.5601		
	Desv. Desviación	0.11636		Desv. Desviación	525.75924		
Máximas diferencias extremas	Absoluta	0.205	Máximas diferencias extremas		Absoluta	0.128	
	Positivo	0.205		Positivo	0.128		
	Negativo	-0.160		Negativo	-0.093		
Estadístico de prueba		0.205	Estadístico de prueba		0.128		
Sig. asin. (bilateral) <sup>c</sup>		0.056	Sig. asin. (bilateral) <sup>c</sup>		0.200 <sup>d</sup>		
Sig. Monte Carlo (bilateral) <sup>d</sup>	Sig.	0.056	Sig. Monte Carlo (bilateral) <sup>e</sup>	Sig.	0.756		
	Intervalo de confianza al 99%	Límite inferior		0.050	Intervalo de confianza al 99%	Límite inferior	0.745
		Límite superior		0.062		Límite superior	0.767
a)			b)				

**Figura 27.** Análisis Kolmogórov-Smirnov en muretes con colocación del mortero en área neta en a)  $V_m$  y en b)  $V'_m$

De la misma manera se realizó la prueba de Kolmogórov-Smirnov (K – S) cuando la colocación del mortero fue en área de caras laterales. Los resultados obtenidos fueron  $P_{value} = 0.125$  y  $0.093$  para la resistencia a compresión diagonal y el módulo a corte respectivamente. En este caso también se aceptó la hipótesis nula ( $H_0$ ), lo que significa que los datos se ajustaron a una distribución normal. En la **Figura 28** se presentan los resultados.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra			Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra				
		T_FSB			Gm_FSB		
N		16	N		15		
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	0.5945	Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	1,965.5832		
	Desv. Desviación	0.12700		Desv. Desviación	511.91592		
Máximas diferencias extremas	Absoluta	0.190	Máximas diferencias extremas		Absoluta	0.204	
	Positivo	0.101		Positivo	0.204		
	Negativo	-0.190		Negativo	-0.113		
Estadístico de prueba		0.190	Estadístico de prueba		0.204		
Sig. asin. (bilateral) <sup>c</sup>		0.125	Sig. asin. (bilateral) <sup>c</sup>		0.093		
Sig. Monte Carlo (bilateral) <sup>d</sup>	Sig.	0.128	Sig. Monte Carlo (bilateral) <sup>d</sup>	Sig.	0.093		
	Intervalo de confianza al 99%	Límite inferior		0.119	Intervalo de confianza al 99%	Límite inferior	0.085
		Límite superior		0.137		Límite superior	0.100
a)			b)				

**Figura 28.** Análisis Kolmogórov-Smirnov en muretes con colocación del mortero en área de caras laterales en a)  $V_m$  y en b)  $G_m$ .

Para la determinación de la igualdad de medias, entre los resultados con respecto al mortero colocado en área neta y caras laterales, se realizó la prueba de la homocedasticidad de varianzas, también conocida como la prueba *de Levene*.

Misma que consiste en evaluar la igualdad de las varianzas entre dos o más grupos. Como se muestra en la **Figura 29** y la **Figura 30**, el  $P_{value}$  fue de 0.796 y 0.976 para la resistencia y el módulo de corte respectivamente, por lo que se cumple la hipótesis nula ( $H_0$ ) de igualdad de varianzas en ambos parámetros.

Estadísticas de grupo										
		GpoTmax	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar				
Tmax	1.00		17	0.5660	0.11636	0.02822				
	2.00		16	0.5945	0.12700	0.03175				

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas			prueba t para la igualdad de medias					
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Tmax	Se asumen varianzas iguales	0.068	0.796	-0.673	31	0.506	-0.02852	0.04236	-0.11492	0.05789
	No se asumen varianzas iguales			-0.671	30.322	0.507	-0.02852	0.04248	-0.11523	0.05820

**Figura 29.** Prueba de muestras independientes en  $\tau_{m\acute{a}x}$  para colocación en área neta y caras laterales.

Estadísticas de grupo										
		GpoGm	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar				
Gm	1.00		14	1,830.5601	525.75924	140.51507				
	2.00		15	1,965.5832	511.91592	132.17612				

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas			prueba t para la igualdad de medias					
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Gm	Se asumen varianzas iguales	0.001	0.976	-0.701	27	0.490	-135.02308	192.72798	-530.46823	260.42207
	No se asumen varianzas iguales			-0.700	26.742	0.490	-135.02308	192.91193	-531.02437	260.97820

**Figura 30.** Prueba de muestras independientes en el  $G_m$  para colocación en área neta y caras laterales.

Posteriormente, se realizó la prueba paramétrica T – Student, para conocer si existe igualdad de medias entre los resultados obtenidos. Estas pruebas también se presentan en la **Figura 29** y la **Figura 30** para la resistencia y el módulo de corte respectivamente. Los valores de  $P_{value}$  fueron 0.506 y 0.49 en ese orden, evidenciando que existe igualdad de medias. Finalmente, se muestra un resumen en la **Tabla 18** de los valores de significación estadística ( $P_{value}$ ) resultantes del análisis estadístico que se realizó.

**Tabla 18.** Resumen de los resultados del análisis estadístico de las pruebas experimentales

Tipo de prueba	Parámetro			
	Resistencia a compresión diagonal ( $\tau$ )		Módulo a cortante ( $G_m$ )	
	Área neta	Área de caras laterales	Área neta	Área de caras laterales
Distribución normal	0.056	0.125	0.200	0.093
Homocedasticidad de varianzas (prueba de Levene)	0.796		0.976	
Igualdad de medias (prueba T - Student)	0.506		0.490	

4.5.2 Discusión comparativa del módulo de Yong ( $E_m$ ) y módulo de corte ( $G_m$ ) en las diferentes investigaciones de mampostería con bloques huecos de concreto con colocación de mortero en el área neta y el área de caras laterales.

En la **Tabla 19** se resumen los resultados de la comparación entre una investigación previa [15] con el presente trabajo. Con base a la NTC de Mampostería 2023 [17] en el apartado 2.8.6 se establecen las especificaciones de los criterios de diseño acerca de la determinación del módulo a cortante a partir del módulo elástico de la mampostería en la implementación de softwares.

Derivado de la anisotropía de este material, el valor experimental de  $G_m$  no concuerda con dicho valor teórico ya que tiende a ser un valor menor. Por lo que la rigidez lateral de muros de mampostería es inferior a la esperada cuando se estiman estos parámetros utilizando la teoría elástica. Por lo tanto, para la determinación del módulo de rigidez a cortante elástico ( $G_e$ ) a partir del módulo de elasticidad ( $E$ ) se establece la expresión **Ec. 4**:

$$G_e = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

**Ec. 4.** *Módulo de rigidez a cortante elástico compatible con el módulo elástico*

Donde:  $G_e$  = Módulo de rigidez a cortante elástico compatible con el módulo de elasticidad ( $E$ ) y de Poisson ( $\nu$ ) del material.

Es importante tener claro que al utilizar el valor de  $G_m$  en vez de  $G_e$  en el análisis, variará la distribución de cortante sísmico en los muros con base a su relación de esbeltez ( $H/L < 1$ ), y que esto es siempre y cuando el coeficiente de Poisson sea  $0 \leq \nu \leq 0.5$ . Dado que el valor de  $G_m$  no puede ser directamente especificado en estos programas de análisis, se puede lograr esto multiplicando el valor de  $A_c$  por el cociente  $G_m / G_e$ , siendo  $A_c$  el área de cortante de la sección transversal del muro.

En la **Tabla 19** se muestran los resultados en ambas formas de colocación del mortero el uso de la **Ec. 4**, así como la corrección de la reducción del área cortante como lo marca la NTC [17] y también la relación que hay entre  $G_m / E_m$ . Los valores de  $E_m$  se obtuvieron a partir de la experimentación en pilas de tres hiladas de la investigación de García R. [15].

**Tabla 19.** Comparación de módulos mecánicos de diferentes investigaciones en colocación del mortero en área neta y área de caras laterales.

Referencias	Área neta				
	$G_m$	$E_m$	$G_e$	Relación $G_m/E_m$	Corrección área cortante ( $A_c$ )
Presente investigación	1830.56	-	-	0.1707	0.3994
D.C. Ramón García	-	10725.00	4583.33		
Referencias	Área de caras laterales				
	$G_m$	$E_m$	$G_e$	Relación $G_m/E_m$	Corrección área cortante ( $A_c$ )
Presente investigación	1965.58	-	-	0.1748	0.4090
D.C. Ramón García	-	11246.00	4805.98		

Examinando la tabla anterior, se utilizó un valor de Poisson  $\nu = 0.17$  para obtener  $G_e$  y de ello poder obtener la corrección de  $A_c$ . La relación  $G_m/E_m$  que se encontró entre la colocación del mortero en área neta y área de caras laterales es del 2.4%.

## 4.6 Conclusiones parciales

- La diferencia de la resistencia a compresión diagonal entre los muretes con colocación del mortero en área neta respecto a los de área lateral tienen un error relativo entre medias de 5.04%. El error en cuanto a la resistencia de diseño es de 3.76%. En relación con el módulo a cortante, presentó un error relativo del 7.38%, siendo más grande el valor en área de caras laterales que área neta.
- Los tipos de fallas predominantes en cada caso son: tipo combinado para la colocación del mortero en el área neta, y falla de adherencia para la colocación del mortero en área de caras laterales.
- Con base al análisis estadístico se corroboró que no existen diferencias significativas (menores al 5%) en cuanto a la resistencia y el módulo cortante entre la mampostería con la colocación del mortero en área neta y caras laterales. Sin embargo, si existen diferencias sustanciales en cuanto al tipo de falla predominante.
- Si se desea obtener los resultados de los parámetros mecánicos a corte en las diferentes normativas presentadas, se recomienda que para la inglesa (BS) [47] como canadiense (CSA) [44] se revisen detalladamente las especificaciones que éstas rigen, ya que son más complicadas de analizar.

# CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

# CAPÍTULO V

## CONCLUSIONES

### 5.1 Conclusiones

1. De acuerdo con la revisión del estado de arte llevada a cabo, se pudo reconocer que no existen muchos trabajos experimentales de mampostería de bloques huecos de concreto que aborden el tema de la compresión diagonal. Adicionalmente, la influencia de la colocación del mortero en el estudio de la mampostería en general es un tema de actualidad, vigente y novedoso.
2. El comportamiento a corte de la mampostería entre ambas variaciones de colocación del mortero (área neta y área de caras laterales) presentó grandes diferencias en cuanto al modo de falla, ya que predominó la falla combinada con el mortero en área neta y la de adherencia con el mortero en caras laterales. Este último no es deseable.
3. La resistencia a compresión diagonal y al módulo a corte variando la forma de colocación del mortero (área neta y área de caras laterales) no presentaron diferencias significativas estadísticamente.
4. La relación de módulo a corte y módulo de elasticidad ( $G_m / E_m$ ) que se obtuvo para la mampostería de bloques huecos de concreto en ambas formas de colocación, son muy similares.

## 5.2 Recomendaciones

1. Cuando se diseñe mampostería en zona sísmica el mortero deberá ser colocado en el área neta, debido a que el tipo de falla predominante con el mortero colocado en el área de caras laterales no es deseable.
2. Con base en los resultados obtenidos, es fundamental desarrollar normas técnicas complementarias específicas para mampostería en la región norte del país. Esto permitirá asegurar que las estructuras construidas cumplan con estándares adecuados de resistencia y seguridad, considerando las particularidades geográficas y climáticas de la zona.
3. Una contribución significativa de investigaciones experimentales como esta radica en la utilidad para el desarrollo de modelos constitutivos y numéricos. Esta metodología facilita la obtención de resultados con mayor precisión, los cuales, en conjunto, validan la mejora de las prácticas en la ingeniería estructural.

# CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. V. Lemos and V. Sarhosis, "Discrete Element Bonded-Block Models for Detailed Analysis of Masonry," *Infrastructures*, vol. 7, no. 3. doi: 10.3390/infrastructures7030031
- [2] Author, "Compressive, flexural and bond strength of brick/lime mortar masonry," 2009,
- [3] CENAPRED. (2014). *SEGURIDAD SÍSMICA DE LA VIVIENDA ECONÓMICA*.
- [4] G. González del Solar, M. Domizio, P. Martín, and N. Maldonado, "Modeling of Structural Masonry," 2022.
- [5] M. A. B. Ilacedo, "MODELACIÓN COMPUTACIONAL DE MURETES DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUES HUECOS DE CONCRETO, SUJETOS A COMPRESIÓN DIAGONAL," *Estructuras*, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN, Mérida, Yucatán, México, 2018, <http://redi.uady.mx:8080/handle/123456789/4316>.
- [6] C. Torres, A. Tena-Colunga, and G. Juárez-Luna, *Modelado no lineal de muros de mampostería combinada y confinada*. 2017.
- [7] R. F. Z. Q. W. A. Llamaconcca, "Análisis comparativo de la resistencia a compresión axial de pilas y compresión diagonal de muretes de albañilería, sin tarrajeo, con tarrajeo y tarrajeo reforzado con sogá driza utilizando ladrillos king kong de 18 huecos y blocker," Título Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Andina de Cusco, Cusco, 2017,
- [8] J. Shelton, N. Basha, A. Solomon, and D. Cruze, "Numerical Investigation of the Effects of Opening on the Strength of Masonry Wall," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 911, pp. 19-25, 01/04 2023. doi: 10.4028/p-z95i0o.
- [9] P. J. Álvarez, G. J. H. Chávez, T. B. T. Terán, L. M. Mesa, and V. R. Balandrano, "Multifactorial behavior of the elastic modulus and compressive strength in masonry prisms of hollow concrete blocks," *Construction and Building Materials*, vol. 241, p. 118002, 2020/04/30/ 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118002>.
- [10] V. R. Balandrano, "Análisis multifactorial del comportamiento a compresión axial de pilas de mampostería elaboradas con bloques huecos de concreto," MsC, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León, 2019,
- [11] P. J. Álvarez, L. M. Mesa, G. J. H. Chávez, and S. M. G. Fajardo, "Experimental investigation on tensile strength of hollow concrete blocks," *Materials and Structures*, 23 de julio 2021 2021. doi: <https://doi.org/10.1617/s11527-021-01761-3>.
- [12] J. T. a. M. A. Tatheer Zahra, "Compressive Strength and Deformation Characteristics of Concrete Block Masonry made with Different Mortars, Blocks and Mortar Beddings Types," (in English), *Building Engineering*, p. 29, January 2021.
- [13] ONNCCE. (2011). *NMX-C-464-ONNCCE-2010, MAMPOSTERÍA - Mampostería - Determinación de la Resistencia a Compresión Diagonal y Módulo de Cortante de Muretes, así como Determinación de la Resistencia a Compresión y Módulo de Elasticidad de Pilas de Mampostería de Arcilla o de Concreto - Métodos de Ensayo*.
- [14] G. E. BOTELLO, "SIMULACION NUMÉRICA DEL DAÑO EN VIGAS DE CONCRETO REFORZADO CON Y SIN FIBRAS DE ACERO," Ingeniero Civil, Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, 2021,
- [15] G. d. J. F. S. M. y. J. Á. P. Ramón García Cedeño, "Influencia de la forma de colocación del mortero en el comportamiento a compresión uniaxial de la mampostería de bloques

- huecos de concreto," Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, 2024,
- [16] L. M. G. Fernández Baqueiro, F.; Varela Rivera, J.; Vargas Marín, G., "Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto," *Ingeniería*, vol. 13, pp. 41 - 50, 2009.
- [17] Prontuario Normativo de la Administración Pública de la CDMX. (2023). *NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA*.
- [18] J. H. Chávez Gómez *et al.*, "Experimental dataset of masonry prisms with hollow concrete blocks," *Data in Brief*, vol. 53, p. 110207, 2024/04/01/ 2024. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110207>.
- [19] S. M. Alcocer, "COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA: UNA REVISIÓN," *Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A.C*, 1997. Veracruz, Ver., México
- [20] P. D. Gkournelos, T. C. Triantafyllou, and D. A. Bournas, "Seismic upgrading of existing masonry structures: A state-of-the-art review," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 161, p. 107428, 2022/10/01/ 2022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107428>.
- [21] M. Tomažević, "Shear resistance of masonry walls and Eurocode 6: shear versus tensile strength of masonry," *Materials and Structures*, vol. 42, no. 7, pp. 889-907, 2009/08/01 2009. doi: 10.1617/s11527-008-9430-6.
- [22] R. B. Vázquez, "Análisis multifactorial del comportamiento a compresión axial de pilas de mampostería elaboradas con bloques huecos de concreto," *Estructuras*, Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México, 2019,
- [23] E. A. H. Zapata and F. L. C. Villegas, "REVISIÓN DE LITERATURA SOBRE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS EN MAMPOSTERÍA NO REFORZADA DE MÁS DE 2 PISOS CONSTRUIDAS EN BARRIOS SUB-NORMALES," *Universidad de Antioquia*, Revisión 2021. Medellín, Colombia
- [24] M. R. Martínez and Y. C. C. Barrera, "Revisión bibliográfica de patologías en muros de mampostería estructural y no estructural " Especialización en análisis y diseño de estructuras, Especialización en análisis y diseño de estructuras, Universidad de Antioquia, Medellín, 2022,
- [25] ONNCCE. (2012). *NMX-C-404-ONNCCE-2012, Mampostería - Bloques, Tabiques o Ladrillos y Tabicones Para Uso Estructural - Especificaciones y Métodos de Ensayo*.
- [26] Prontuario Normativo de la Administración Pública de la CDMX. (2017). *NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA*.
- [27] I. Khan, Ashraf, M., Fahim, M. , "Experimental characterization of brick masonry for lateral strength evaluation," *Magazine of Civil Engineering*, Artículo de Investigación 2021. doi: 10.34910/MCE.104.9.
- [28] ONNCCE. (2014). *NMX-C-037-ONNCCE-2013, Mampostería – Determinación de la Absorción Total y la Absorción Inicial de Agua en Bloques, Tabiques o Ladrillos y Tabicones – Método de Ensayo*
- [29] V. Mancera Leon, "Revisión teórica del estudio comparativo en bloques de arcilla y cáñamo industrial como alternativa de construcción sostenible. ," FACULTAD DE INGENIERÍA Y COMPUTACIÓN, ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, Universidad Católica de San Pablo, 2022,
- [30] M. Nadeem, A. Gul, A. Bahrami, M. Azab, S. W. Khan, and K. Shahzada, "Evaluation of mechanical properties of cored interlocking blocks – A step toward affordable masonry material," *Results in Engineering*, vol. 18, p. 101128, 2023/06/01/ 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101128>.

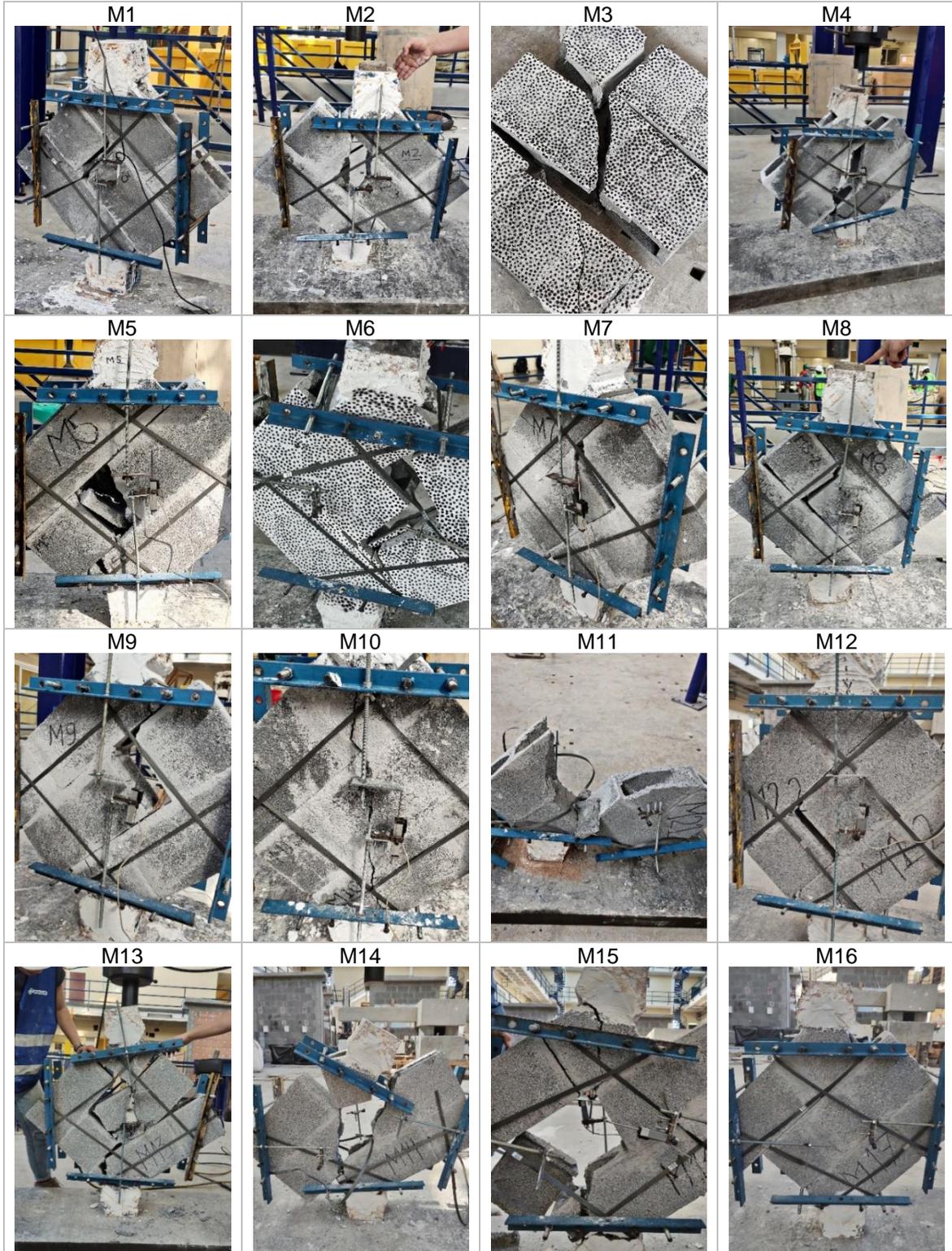
- [31] ONNCCE. (2013). *NMX-C-036-ONNCCE-2013, Mampostería – Resistencia a la Compresión de Bloques, Tabiques o Ladrillos y Tabicones y Adoquines – Método de Ensayo.*
- [32] ONNCCE. (2010). *NMX-C-061-ONNCCE-2010, Cementos Hidráulicos - Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cementantes Hidráulicos*
- [33] (2012). *ASTM C307 - Tensile Strength of Chemical-Resistant Mortar, Grouts, and Monolithic Surfacing.*
- [34] L. Gambarotta and S. Lagomarsino, "DAMAGE MODELS FOR THE SEISMIC RESPONSE OF BRICK MASONRY SHEAR WALLS. PART I: THE MORTAR JOINT MODEL AND ITS APPLICATIONS," *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 26, no. 4, pp. 423-439, 1997/04/01 1997.
- [35] L. Garcia-Ramonda, L. Pelà, P. Roca, and G. Camata, "Experimental and numerical insights on the in-plane behaviour of unreinforced and TRM/SRG retrofitted brick masonry walls by diagonal compression and shear-compression testing," *Construction and Building Materials*, vol. 402, p. 132997, 2023/10/26/ 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132997>.
- [36] N. A. Khan, A. Aloisio, G. Monti, C. Nuti, and B. Briseghella, "Experimental characterization and empirical strength prediction of Pakistani brick masonry walls," *Journal of Building Engineering*, p. 106451, 2023/04/06/ 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106451>.
- [37] M. K. R. M V, J. K S, and S. M. Basutkar, "Studies on shear strength and stiffness of brick masonry walls," *Materials Today: Proceedings*, 2023/04/06/ 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.682>.
- [38] S. Sanchez Tizapa, A. Villaseñor-Franco, E. Guinto-Herrera, R. Barragán-Trinidad, and A. Mebarki, "Proposed reference values for the diagonal compressive strength and compressive strength of masonry design in Guerrero state, Mexico," *Revista Alconpat*, vol. 7, pp. 231-246, 09/01 2017.
- [39] ONNCCE. (2014). *NMX-C-082-ONNCCE-2013, MAMPOSTERÍA – DETERMINACIÓN DE LA ADHERENCIA POR ESFUERZO CORTANTE ENTRE EL MORTERO Y LAS PIEZAS DE MAMPOSTERÍA –MÉTODO DE ENSAYO.*
- [40] A. S. Arya, "Earthquake Resistant Design of Masonry Buildings," in *Advances in Indian Earthquake Engineering and Seismology: Contributions in Honour of Jai Krishna*, M. L. Sharma, M. Shrikhande, and H. R. Wason, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 259-271.
- [41] M. Cuomo and A. J. L. p. d. p. c. L. q. s. Badalà, "Problematiche metodologiche relative alla determinazione sperimentale delle proprietà meccaniche dei materiali murari e dei loro componenti," pp. 657-683, 1997.
- [42] P. Dayaratnam, *Brick and reinforced brick structures*. South Asia Books, 1987.
- [43] ASTM International. (2015). *ASTM E519/E519M – 15, Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages.*
- [44] (2004). *CSA S304.1-04, Design of masonry structures*
- [45] AS. BD-004, (2018). *AS 3700, Masonry Structures.*
- [46] V. Z. Bosiljkov, Y. Z. Totoev, J. M. J. S. E. Nichols, and Mechanics, "Shear modulus and stiffness of brickwork masonry: an experimental perspective," vol. 20, no. 1, pp. 21-44, 2005.
- [47] European Standard (2002). *BS EN 1052-3:2002, Methods of test for masonry part 3: determination of initial shear strength.*
- [48] ONNCCE. (2013). *NMX-C-109-ONNCCE-2013, Industria de la Construcción - Concreto Hidráulico - Cabeceo de Especímenes.*

- [49] ONNCCE. (2014). *NMX-C-083-ONNCCE-2014, Industria de la Construcción – Concreto – Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes – Método de Ensayo.*
- [50] ONNCCE. (2014). *NMX-C-038-ONNCCE-2013, Determinación de las Dimensiones de los Bloques, Tabiques o Ladrillos y Tabicones - Método de Ensayo.*
- [51] ONNCCE. (2011 ). *NMX-C-021-ONNCCE-2010, CEMENTO PARA ALBAÑILERÍA (MORTERO) - ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE ENSAYO*
- [52] ONNCCE. (1999). *NMX - C- 414 - ONNCCE - 1999, Cementos Hidráulicos - Especificaciones y Métodos de Prueba.*
- [53] I. Stat-Ease, "Design Expert 11," 11 ed. Minneapolis, Minnesota: Stat-Ease, Inc., 2024.
- [54] M. Corporation, "Microsoft Excel 2023," 2023 ed. Redmond, WA: Microsoft Corporation, 2023.
- [55] I. Corporation, "IBM SPSS Statistics 27," 27 ed. Armonk, NY: IBM Corporation, 2020.
- [56] ONNCCE, (2018). *NMX-C-164-ONNCCE-2018, Industria de la construcción - Morteros y concretos refractarios - Especificaciones y métodos de prueba.*
- [57] A. S. f. T. a. Materials, "ASTM C39 - Compressive strength of concrete cylinders," vol. 04.02 2021.
- [58] A. M. L. Porras, *Diseño estadístico de experimentos, análisis de la varianza y temas relacionados: tratamiento informático mediante SPSS.* Proyecto Sur, 2000.
- [59] R. d. I. V. S. Humberto Gutiérrez Pulido, M. G. Hill, Ed. *Análisis y diseño de experimentos*, 3ra ed. México, 2012.
- [60] M. G. JIMENEZ CAREAGA, "Superficies de Respuesta mediante un Diseño Central Compuesto," *Varianza*, Mayo 2015.
- [61] (2021). *ASTM 105-16 - Standard Practice for Probability Sampling of Materials.*
- [62] T. F. Abbas and Z. K. Abbas, "Manufacture of Load Bearing Concrete Masonry Units Using Waste Demolishing Material," *Journal of Engineering*, vol. 29, no. 4, pp. 105-118, 04/01 2023. doi: 10.31026/j.eng.2023.04.07.
- [63] ONNCCE. (2014). *NMX-C-111-ONNCCE-2014, Determinación del tamaño de partículas en suelos - Análisis granulométrico - Método de ensayo.*
- [64] ONNCCE. (2011). *NMX-C-159-ONNCCE-2011, Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado fino – Método de ensayo.*
- [65] C. F. F. García, "Análisis de los factores de corrección por esbeltez geométrica en prismas elaborados con bloques huecos de concreto de la región de Nuevo León," Universidad Autónoma de Nuevo León, 2022,
- [66] S. Pértegas Díaz and S. J. C. A. P. Pita Fernández, "La distribución normal," vol. 8, pp. 268-274, 2001.

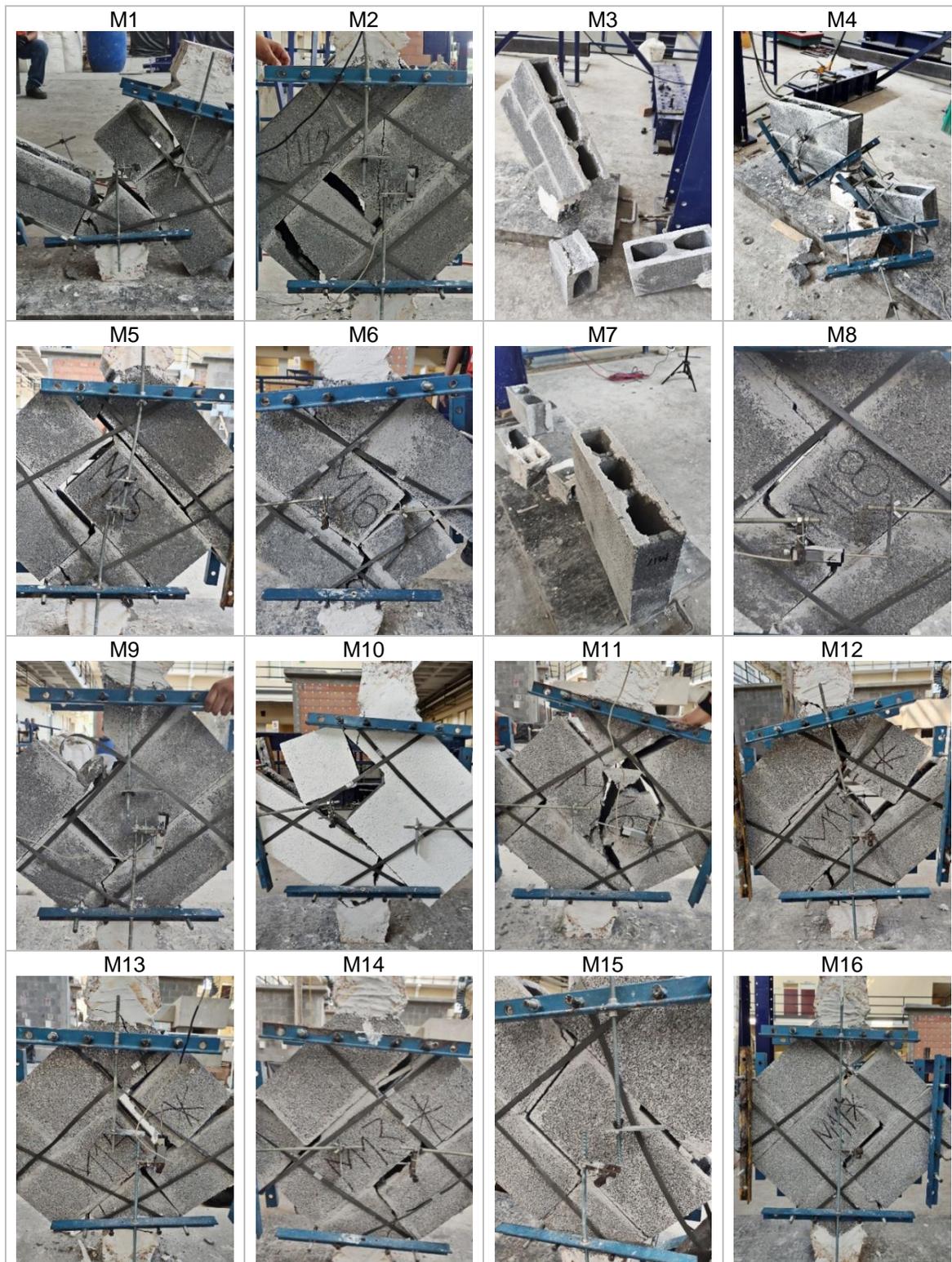
# CAPÍTULO VII: ANEXOS

## ANEXOS

### Anexo A. Fotografías de las fallas dadas en los muretes de mampostería con colocación del mortero en área neta.



**Anexo B. Fotografías de las fallas dadas en los muretes de mampostería con colocación del mortero en área de caras laterales.**



## ANEXOS C. Elaboración y ensayo de muretes



## ANEXOS D. Elaboración y ensayo de probetas de mortero



## ANEXOS E. Diferentes ensayos de bloques

