

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

**DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE RUPTURA EN MAMPOSTERÍA TRASLAPADA
CON ESFUERZOS DE TRACCIÓN POR FLEXIÓN PARALELOS A LAS JUNTAS
HORIZONTALES**

Trabajo de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Silvia María Barahona Mayorga

Directora de Proyecto de Graduación:

Ing. Andrea Ramírez Villalba

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Tribunal de Graduación



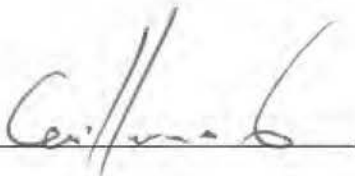
Ing. Andrea Ramírez Villalba

Directora de tesis



Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.

Asesor



Ing. Guillermo González Beltrán, PhD.

Asesor



Silvia María Barahona Mayorga

Candidata

Fecha: 2019, Abril 10

La suscrita, Silvia María Barahona Mayorga cédula 1-1561-0143, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **B20788**, manifiesta que es autora del Proyecto Final de Graduación **Determinación del módulo de ruptura en mampostería traslapada con esfuerzos de tracción por flexión paralelos a las juntas horizontales**, bajo la Dirección de la **Ing. Andrea Ramírez Villalba**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); “no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales”. Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra

Dedicatoria

Al dueño de mi amor, quien se hizo Rey con una corona de espinas.

A mis ejemplos a seguir, mis padres.

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a Dios por permitirme haber llegado hasta aquí, por haber estado en cada paso que di a lo largo de los años, por su infinito amor y misericordia cada segundo de mi vida.

A mi familia, principalmente a mis padres quienes me han dado todo su amor y apoyo, les agradezco cada sacrificio que han hecho para que yo pudiera llegar hasta aquí.

A la Ing. Andrea Ramírez Villalba por su apoyo incondicional durante el desarrollo de este interesante trabajo.

A mis asesores Ing. Alejandro Navas y al Ing. Guillermo González por estar siempre dispuestos a asesorarme y guiarme durante este proyecto.

A las empresas que con sus donaciones hicieron posible este proyecto:

- INTACO (Osvaldo Ramírez), quienes donaron la totalidad de mortero y concreto de relleno.
- Pedregal (German Gómez), quienes donaron la totalidad de las unidades de mampostería.

A todo el personal del LANAMEUCR, en especial a los encargados de los laboratorios de Estructuras y Concreto y Agregados, Ing. Francisco Villalobos y Ing. Einer Rodríguez. A los técnicos de laboratorio, Luis Diego Guzmán, Avisai Mena, Cristian Ramírez y Marcos Sandoval.

A mis compañeros de traspasadas, estudiadas y risas a lo largo de toda la carrera, en especial a Karol Gómez y a Yancy Chacón.

Índice

Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Generalidades	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos	9
1.2.1 <i>Objetivo General</i>	9
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	9
1.3 Alcance	10
1.4 Limitaciones	11
1.5 Metodología	11
1.5.1 <i>Fase 1: Revisión bibliográfica</i>	11
1.5.2 <i>Fase 2: Implementación de ensayos</i>	11
1.5.3 <i>Fase 3: Análisis de resultados</i>	13
1.5.4 <i>Fase 4: Informe final</i>	13
Capítulo 2. Marco Teórico.....	15
2.1 Mampostería	15
2.1.1 <i>Unidad de mampostería</i>	15
2.1.2 <i>Morteros</i>	16
2.1.3 <i>Concreto de relleno</i>	17
2.2 Resistencia a compresión de la mampostería.....	17
2.3 Resistencia a flexión de la mampostería	20
Capítulo 3. Materiales	27
3.1 Unidades de Mampostería	27
3.2 Mortero	30
3.2.1 <i>Mortero N</i>	30
3.2.2 <i>Mortero S</i>	31
3.2.3 <i>Mortero M</i>	31
Capítulo 4. Método constructivo y experimental.....	33
4.1 Tamaño de los especímenes	33
4.2 Proceso constructivo.....	34
4.2.1 <i>Muretes</i>	35
4.2.2 <i>Prismas de mampostería</i>	37

4.2.3 Concreto de relleno.....	37
4.3 Montaje Experimental.....	38
Capítulo 5. Resultados Experimentales	45
5.1 Mortero	45
5.2 Concreto de relleno.....	46
5.3 Prismas de mampostería.....	47
5.4 Muretes.....	49
5.4.1 Muretes sin relleno.....	50
5.4.2 Muretes parcialmente rellenos.....	53
5.4.3 Muretes totalmente rellenos	56
5.5 Comparación con códigos de diseño.....	58
Capítulo 6. Análisis de resultados	61
6.1 Relación del módulo de ruptura con la presencia de concreto de relleno.....	61
6.1.1 Muretes tipo N.....	62
6.1.2 Muretes tipo S.....	64
6.1.3 Muretes tipo M.....	68
6.2 Relación del módulo de ruptura con el tipo de mortero	70
6.3 Relación del módulo de ruptura con la resistencia a compresión de la mampostería.....	73
6.4 Comparación con códigos de diseño.....	75
6.4.1 Código TMS.....	75
6.4.2 CSCR 2010 - 14.....	78
Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones.....	81
7.1 Conclusiones	81
7.2 Recomendaciones	83
Bibliografía.....	85
Anexos.....	87

Índice de Figuras

Figura 1. Modos de falla observados en la investigación <i>Tensile and Flexural Strength of Masonry- Influences Test Methods, Test Results</i>	5
Figura 2. Tipo de fractura presentada en la investigación <i>Flexural Bond Strength of Masonry Parallel to the Bed Joints</i>	6
Figura 3. Metodología de investigación	12
Figura 4. Relación entre la resistencia a compresión de prismas de mampostería y mortero	19
Figura 5. Relación entre la resistencia a compresión de prismas de mampostería y bloques	19
Figura 6. Tipo de fractura según la dirección de los esfuerzos de tracción.....	21
Figura 7. Viga sometida a esfuerzos de flexión.....	22
Figura 8. Muro con cargas perpendiculares a su plano	23
Figura 9. Muro de corte con carga paralela a su plano	24
Figura 10. Muro esbelto con cargas perpendiculares a su plano	25
Figura 11. Tipo de fractura según la dirección de los esfuerzos de tracción.....	26
Figura 12. Dimensiones tomadas en cada bloque	27
Figura 13. Tamaño de los especímenes experimentales (elevación).....	34
Figura 14. Especímenes experimentales	35
Figura 15. Cepillo utilizado para limpiar los bloques	36
Figura 16. Curado de los cubos de mortero para el control de calidad.....	36
Figura 17. Aspersor de agua utilizado para curar las juntas de mortero	37
Figura 18. Colocación del concreto de relleno en los muretes	38
Figura 19. Colocación del concreto de relleno en los prismas	38
Figura 20. Prueba de revenimiento.....	38
Figura 21. Prismas de concreto de relleno.....	38
Figura 22. Colocación de piezas de madera y eslingas.....	39
Figura 23. Transporte de los muretes	39
Figura 24. Medición del peso propio de los muretes.....	40
Figura 25. Colocación de los muretes sobre piezas de madera para llevarlos a la posición horizontal	40
Figura 26. Inclinación del murete hacia la posición horizontal	41
Figura 27. Murete en posición horizontal.....	41
Figura 28. Señalamiento de los puntos de apoyo y puntos de carga.....	42
Figura 29. Colocación del murete sobre la grúa móvil.....	42
Figura 30. Esquema del montaje experimental utilizado.....	43
Figura 31. Colocación del murete en el dispositivo de carga.....	43
Figura 32. Modo de falla observado en todos los muretes.....	44
Figura 33. Sección transversal del plano de falla.....	44
Figura 34. Sección frontal del murete en el montaje experimental	50
Figura 35. Sección transversal del murete sin relleno.....	50
Figura 36. Geometría de los muretes tipo M en condición sin relleno.....	52

Figura 37. Geometría de los muretes parcialmente rellenos.....	53
Figura 38. Geometría de los muretes tipo M en condición parcialmente rellena	55
Figura 39. Geometría de los muretes totalmente rellenos	56
Figura 40. Variación del módulo de ruptura según su condición de relleno.....	61
Figura 41. Variación del módulo de ruptura para muretes N según su condición de relleno	62
Figura 42. Relación del módulo de ruptura con la resistencia a compresión para los muretes tipo N.....	64
Figura 43. Variación del módulo de ruptura para muretes S según su condición de relleno	65
Figura 44. Relación del módulo de ruptura con la resistencia a compresión para los muretes tipo S.....	67
Figura 45. Variación del módulo de ruptura en muretes tipo M según su condición de relleno.....	68
Figura 46. Relación del módulo de ruptura con la resistencia a compresión, muretes tipo M	70
Figura 47. Relación del módulo de ruptura con el tipo de mortero	71
Figura 48. Relación del módulo de ruptura con la resistencia a compresión del mortero... ..	72
Figura 49. Relación del módulo de ruptura con la resistencia a compresión de la mampostería.....	74
Figura 50. Comparación de los resultados experimentales con los valores establecidos por el TMS.....	76
Figura 51. Comparación de los resultados experimentales de módulo de ruptura con los valores encontrados al aplicar las ecuaciones del CSCR.....	78

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Ensayos realizados para la caracterización de los materiales empleados.....	27
Cuadro 2. Dimensiones de los bloques del lote 1	28
Cuadro 3. Dimensiones de los bloques del lote 2	28
Cuadro 4. Propiedades de los bloques, lote 1	28
Cuadro 5. Propiedades de los bloques, lote 2	29
Cuadro 6. Resistencia de los bloques a compresión, lote 1	29
Cuadro 7. Resistencia de los bloques en compresión, lote 2.....	29
Cuadro 8. Resistencia a compresión del mortero N	30
Cuadro 9. Retención de agua, mortero N	30
Cuadro 10. Resistencia a compresión del mortero S.....	31
Cuadro 11. Retención de agua, mortero S	31
Cuadro 12. Resistencia a compresión del mortero M.....	32
Cuadro 13. Retención de agua, mortero M.....	32
Cuadro 14. Resumen de las propiedades de cada mortero utilizado.....	32
Cuadro 15. Resistencia a compresión del mortero N	45

Cuadro 16. Resistencia a compresión del mortero S.....	46
Cuadro 17. Resistencia a compresión del mortero M.....	46
Cuadro 18. Resumen de la resistencia a compresión de los morteros.....	46
Cuadro 19. Resistencia a compresión de prismas de concreto de relleno, muretes tipo N	47
Cuadro 20. Resistencia a compresión de prismas de concreto de relleno, muretes tipo S.	47
Cuadro 21. Resistencia a compresión de prismas de concreto de relleno, muretes tipo M	47
Cuadro 22. Resumen de la resistencia a compresión de los prismas de concreto de relleno	47
Cuadro 23. Resistencia a compresión de la mampostería tipo N	48
Cuadro 24. Resistencia a compresión de la mampostería tipo S.....	48
Cuadro 25. Resistencia a compresión de la mampostería tipo M.....	49
Cuadro 26. Resistencia promedio a compresión de la mampostería según el tipo de mortero.....	49
Cuadro 27. Módulo de ruptura de los muretes tipo N sin relleno	51
Cuadro 28. Módulo de ruptura de los muretes tipo S sin relleno.....	51
Cuadro 29. Módulo de ruptura de los muretes tipo M sin relleno.....	53
Cuadro 30. Módulo de ruptura de los muretes tipo N parcialmente rellenos.....	54
Cuadro 31. Módulo de ruptura de los muretes tipo S parcialmente rellenos	54
Cuadro 32. Módulo de ruptura de los muretes tipo M parcialmente rellenos.....	56
Cuadro 33. Módulo de ruptura de los muretes tipo N totalmente rellenos.....	57
Cuadro 34. Módulo de ruptura de los muretes tipo S totalmente rellenos.....	57
Cuadro 35. Módulo de ruptura de los muretes tipo M totalmente rellenos	57
Cuadro 36. Resumen de los resultados promedios del módulo de ruptura.....	58
Cuadro 37. Resumen de los resultados experimentales	58
Cuadro 38. Valores de módulo de ruptura determinados por el TMS, psi.....	59
Cuadro 39. Comparación entre los resultados experimentales y los valores obtenidos al aplicar otros códigos de diseño	60

Índice de abreviaturas

f_g = resistencia a compresión del concreto de relleno, kg/cm².

f_m = resistencia a compresión del mortero, kg/cm².

f'_m = resistencia a compresión del mortero, kg/cm².

f_r = módulo de ruptura de la mampostería, kg/cm².

H = altura de la unidad de mampostería, mm.

I_{bruta} = inercia bruta del murete, cm⁴.

I_{hueca} = inercia hueca del murete, cm⁴.

I_{neta} = inercia neta del murete, mm⁴.

l = longitud libre entre apoyos, cm.

L = longitud de la unidad de mampostería, mm.

M_{cr} = momento de agrietamiento, kg-m.

$P_{m\acute{a}x}$ = carga máxima aplicada sobre el espécimen, kN.

P_s = peso propio del murete, kN.

S = módulo de sección del murete, mm³.

t_w = espesor de las paredes internas de la unidad de mampostería, mm.

t_{wc} = espesor de la paredes interna central de la unidad de mampostería, mm.

t_f = espesor de las paredes externas de la unidad de mampostería, mm.

W = espesor de la unidad de mampostería, mm.

W_d = peso seco de la unidad de mampostería, kg.

W_i = peso sumergido de la unidad de mampostería, kg.

W_r = peso recibido de la unidad de mampostería, kg.

W_s = peso saturado de la unidad de mampostería, kg.

y = distancia desde el eje neutro hasta la fibra extrema en compresión, mm.

Barahona Mayorga Silvia María

Determinación del módulo de ruptura de la mampostería traslapada con esfuerzos de tracción por flexión paralelos a la junta horizontal

Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José, CR.:

S. Barahona M, 2019

xii, 85 [7]h; ils. col.- 21 refs.

Resumen

Este proyecto pretende determinar los valores del módulo de ruptura de la mampostería propia de Costa Rica, utilizando un patrón de construcción traslapado y esfuerzos de tracción paralelos a la junta horizontal. Además, determinar si los valores encontrados poseen alguna relación con las fórmulas que establece el CSCR 2010-14 para el cálculo del módulo de ruptura.

Se realizaron un total de 27 muretes, los cuales se dividieron en tres grupos de 9 muretes cada uno, los cuales correspondían a tres tipos de mortero, mortero tipo N, S y M; dentro de cada grupo se realizaron tres muretes sin concreto de relleno, tres muretes parcialmente rellenos y tres muretes totalmente rellenos. Los muretes se ensayaron según la norma INTE C74 o ASTM E518-15 en el Laboratorio Nacional de Modelos y Materiales Estructurales de la Universidad de Costa Rica, LANAMMEUCR. Adicionalmente, se realizaron 18 prismas de mampostería, 6 por cada tipo de mortero, con el fin de determinar si existe alguna relación entre el módulo de ruptura y la resistencia a compresión mampostería.

Los resultados de las pruebas demostraron que el módulo de ruptura incrementa con la presencia de concreto de relleno. También, se determinó que el módulo de ruptura de la mampostería, depende directamente de la adherencia entre la unidad y la junta vertical, es decir que, si no existe una buena adherencia entre ambas partes el módulo de ruptura no incrementará, aunque se utilice un mortero más resistente. Por otro lado, se observó que no existe una relación directamente proporcional entre el módulo de ruptura y la resistencia a compresión de la mampostería. SBM

PALABRAS CLAVE: MAMPOSTERÍA, MÓDULO DE RUPTURA, RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Ing. Andrea Ramírez Villalba

Escuela de Ingeniería Civil

Capítulo 1.Introducción

1.1 Generalidades

La mampostería es un método constructivo muy utilizado en Costa Rica, tanto en viviendas como en edificios. Debido a ello se necesitan parámetros de diseño específicos para el uso de este tipo de material. Con el paso de los años, muchos de estos parámetros han sido determinados con ensayos y diversas investigaciones, mientras que, otros deben de ser investigados a fondo con el fin de adaptar a la realidad costarricense la normativa internacional, tal como lo es el **código estadounidense TMS 402/602 "Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures"**, de la sociedad de mampostería de ese país, (The Masonry Society).

Los entes internacionales realizan diversas investigaciones acerca de las propiedades mecánicas de los tipos de mampostería con los que cuentan, con el fin de actualizar las propiedades de la mampostería y realizar así un diseño eficiente. En Costa Rica, se estudian los cambios que incorporan las entidades internacionales y luego se adaptan a la realidad del país, sin embargo, la mampostería es un elemento que depende de muchos factores, tales como el tipo de agregado que se utiliza para la fabricación de las unidades de mampostería, el tipo de mortero empleado para la colocación de bloques, el tipo de concreto de relleno y la mano de obra. Por ende, es necesario investigar las propiedades mecánicas de la mampostería propia de nuestro país, con el fin de contar con los parámetros de diseño específicos para el tipo mampostería existente en el territorio nacional.

Actualmente, a nivel nacional no existen investigaciones sobre el módulo de ruptura de la mampostería de concreto. El módulo de ruptura define la resistencia de la mampostería ante esfuerzos por flexión, sin embargo, no existe una investigación experimental que indique los valores promedios del módulo de ruptura de la mampostería nacional. Por ello, es necesario realizar una investigación experimental, con la cual se pueda dar una recomendación de los valores promedios del módulo de ruptura de la mampostería propia del país.

1.1 Antecedentes

A nivel nacional se han realizado diversas investigaciones sobre el comportamiento general de la mampostería, sin embargo, no se han realizado investigaciones experimentales enfocadas a determinar el módulo de ruptura de la mampostería propia del país. Es decir, se desconoce no

solo el módulo de ruptura de la mampostería ante las diferentes direcciones de los esfuerzos de tracción, sino que también se desconoce, la relación del módulo de ruptura con las diversas propiedades de la mampostería.

Por otro lado, a nivel internacional se han desarrollado diversas investigaciones, entre las principales se encuentran:

1. *Flexural Tensile Strength of Concrete Block Masonry (1988)*; Ahmed A. Hamid & Robert G. Drysdale

En esta investigación, se estudió el comportamiento a flexión de muros de mampostería de 790 mm x 1 590 mm. El tamaño de estos muretes se escogió de modo tal que los posibles modos de falla se presentarán en la sección central del espécimen, esto es particularmente importante cuando los esfuerzos de tracción se dan en sentido paralelo a la junta horizontal, ya que la grieta puede seguir una trayectoria en línea recta, atravesando las juntas verticales y las unidades de mampostería o puede seguir un patrón escalonado, donde la grieta atraviesa las juntas verticales y horizontales de mortero.

En dicho estudio, se evaluó la resistencia a los esfuerzos de tracción con dirección paralela y perpendicular a la junta horizontal. Entre los parámetros utilizados se encuentran tres tamaños diferentes de unidades de mampostería, cuatro resistencias diferentes de unidades de mampostería, dos tipos de mortero y tres resistencias de concreto de relleno.

Esta investigación confirmó que la mampostería posee propiedades ortotrópicas, esto debido a que la resistencia de la mampostería sin concreto de relleno es mayor cuando los esfuerzos de tracción se presentan en dirección paralela a la junta horizontal. Los resultados de esa investigación demostraron que la presencia del concreto de relleno aumenta la resistencia a tracción de la mampostería, sin embargo, dicho aumento es más significativo cuando los esfuerzos se presentan en dirección perpendicular a la junta horizontal; además, se determinó que la resistencia del concreto de relleno posee poca influencia en la resistencia de tracción de la mampostería. Adicionalmente, se observó que el tamaño y la resistencia de la unidad de mampostería no poseen una influencia significativa en la resistencia de tracción de la mampostería.

Para esta investigación se registró la carga y modo de falla. Cuando los esfuerzos a tracción se presentaron en dirección paralela a la junta horizontal se registraron dos modos de falla. Los muretes sin concreto de relleno presentaron un modo de falla escalonado, mientras que para

los muretes con concreto de relleno, la falla se presentó en línea recta, atravesando las juntas verticales de mortero y la unidad de mampostería. Este último modo de falla, indica que el concreto de relleno es lo suficientemente resistente, obligando a la grieta a pasar a través de la junta de mortero y de la unidad de mampostería. La presencia del concreto de relleno mostró un aumento de aproximadamente 150% en la capacidad de momento.

Cuando la falla se presentó en línea recta y la propagación de la grieta atravesó la unidad de mampostería, los investigadores pensaron que la resistencia a tracción de la unidad jugaba un papel importante en la resistencia a tracción del murete, sin embargo, no se pudo demostrar que existiera una correlación entre estos dos parámetros, debido a la alta dispersión de los resultados.

Es por esto que se estudió la resistencia a flexión de la unidad de mampostería y se demostró que existe una relación entre la resistencia a flexión de la unidad de mampostería y la resistencia a tracción de la mampostería. Dicha relación tiene lugar debido a la presencia de concreto de relleno, ya que este elemento da una mayor continuidad al murete, por lo tanto, las juntas verticales de mortero trabajan de una mejor manera, ya que desarrollan toda su resistencia, lo cual origina que la junta pierda su capacidad para resistir esfuerzos de tracción, transfiriendo de esta manera, los esfuerzos de tracción a la unidad de mampostería. Sin embargo, si la unidad de mampostería no posee la resistencia suficiente a flexión para soportar los esfuerzos transferidos por la junta vertical de mortero se da la falla de la unidad y con ello el colapso del murete.

2. *Effect of Grouting on the Flexural Tensile Strength of Concrete Block Masonry* (1984);
Robert G. Drysdale & Ahmad A. Hamid

Esta investigación se realizó con el fin de analizar el efecto relativo del concreto de relleno sobre la resistencia a tracción de la mampostería en comparación con la mampostería de ladrillo. Para ello se realizaron muretes de 1 590 mm x 790 mm, con el fin de crear una región de flexión pura, la carga se aplicó en dos puntos. Para determinar el efecto del concreto de relleno se usaron tres tipos de concreto de relleno, concreto normal, con una resistencia a compresión de 215 kg/cm²; concreto débil, con resistencia a compresión de 140 kg/cm² y concreto fuerte; con una resistencia de 418 kg/cm². En los muretes con esfuerzos paralelos a la junta horizontal, únicamente se utilizó concreto de relleno normal.

Los cálculos de resistencia a flexión se realizaron según la condición de relleno. Para los muretes sin relleno, se utilizó únicamente el área correspondiente a las caras externas, mientras que, para los muretes totalmente rellenos, se utilizó el área bruta de la sección.

En los muretes con esfuerzos de tracción paralelos a la junta horizontal, se observaron dos modos de falla: un patrón escalonado para los muretes sin relleno y un patrón en línea recta, para los muretes con relleno, donde la grieta atravesó las paredes del bloque y no el concreto de relleno. Este último modo de falla indica que, el concreto de relleno fortaleció las juntas horizontales previniendo el modo de falla escalonado debido al agrietamiento de la junta horizontal. Además, esto indica que el concreto de relleno fue lo suficientemente fuerte, obligando a la grieta a atravesar las paredes de la unidad de mampostería. Debido a los resultados de esta investigación, se concluyó que la resistencia de la mampostería con esfuerzos de tracción paralelos a la junta horizontal depende de la resistencia a tracción del bloque y de la resistencia a tracción de la unión entre el mortero y el bloque en la junta vertical.

De acuerdo con los resultados de esta investigación, la resistencia a la mampostería ante los esfuerzos de tracción paralelos a la junta horizontal aumentó en aproximadamente 71% con la presencia de concreto de relleno.

3. *Tensile and Flexural Strength of Masonry- Influences Test Methods, Test Results,* (1994) P. Schubert.

El objetivo de esta investigación alemana, fue describir las influencias, el método de cálculo y método de prueba de la resistencia a tracción y de flexión de la mampostería. Para ambos tipos de esfuerzos se describen dos posibles modos de falla, en el caso de esfuerzos de tracción paralelos a la junta horizontal. En primer caso, el modo de falla es en línea recta donde la grieta atraviesa la junta vertical y las paredes de la unidad de mampostería; en el segundo caso, la grieta genera un patrón escalonado, propagándose a través de las juntas de mortero. Ambos tipos de falla se observan en la Figura 1. Para esta investigación se realizaron muretes utilizando diferentes tipos de unidades de mampostería y tipos de mortero, realizando únicamente tres pruebas para cada combinación.

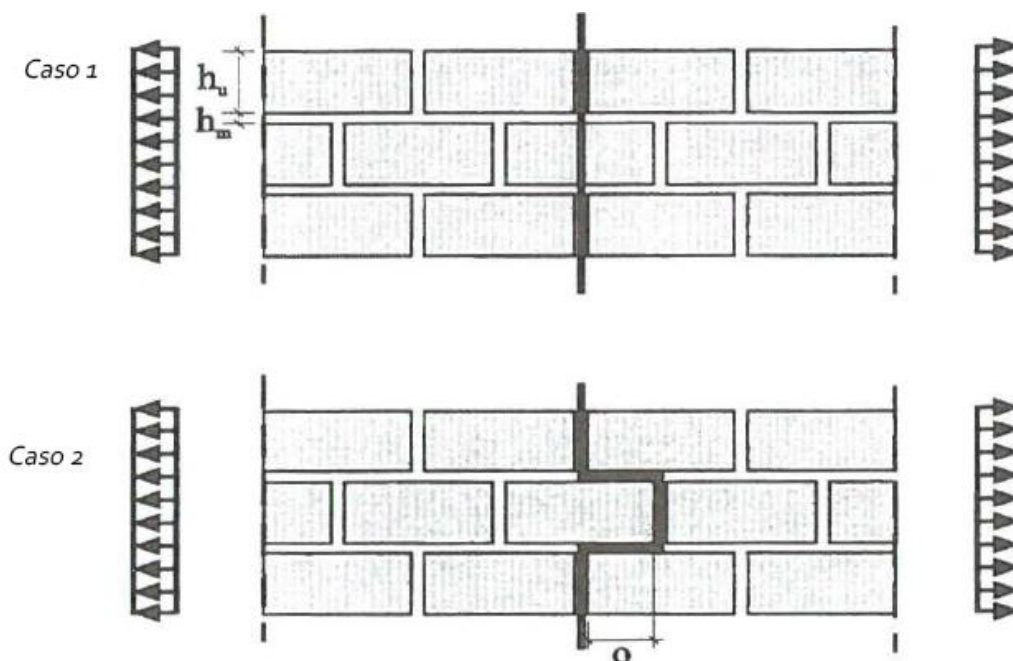


Figura 1. Modos de falla observados en la investigación *Tensile and Flexural Strength of Masonry - Influences Test Methods, Test Results*

Adaptada de Schubert, 1994

Modificado por autor

Schubert, describe que el modelo de esfuerzos de ambos tipos de falla es diferente cuando el mortero es colocado parcialmente en la junta vertical y cuando es colocado completamente en la junta vertical. Cuando el mortero es colocado parcialmente en la junta vertical, el modelo de esfuerzos es igual al desarrollado para esfuerzos de tracción axial.

Cuando el mortero es colocado en toda la junta vertical, es necesario diferenciar los dos modos de falla. En el caso 1, los esfuerzos de tracción exceden la resistencia a tracción de la unidad de mampostería, mientras que en el caso 2, los esfuerzos de tracción exceden la resistencia a tracción de la unión entre la unidad de mampostería y el mortero.

En el caso 1, los esfuerzos de compresión son transmitidos a lo largo de todo el muro, mientras que, los esfuerzos de tracción son resistidos, únicamente, por las unidades de mampostería. En el caso 2, se puede suponer que la resistencia a tracción de la unión en la junta vertical es menor que la resistencia a cortante torsional de la junta horizontal.

De acuerdo con Schubert, las variables que influyen en la resistencia a mampostería con esfuerzos de tracción paralelos a la junta horizontal son:

- La resistencia a tracción de la unidad
- La resistencia longitudinal a compresión

- La resistencia a cortante entre la junta horizontal y las unidades de mampostería
- La resistencia a tracción de la unión entre la junta vertical y la unidad de mampostería

Los resultados de esta investigación se arrojaron valores mayores cuando se utilizaron morteros de mayor resistencia. Sin embargo, debido a la amplia gama de factores que afectan la resistencia a tracción y a la amplia variabilidad de los resultados, no fue posible establecer valores precisos de resistencia a tracción.

4. *Flexural Bond Strength of Masonry Parallel to the Bed Joints* (2003); Russell H. Brown & John Melander

El objetivo de esta investigación fue determinar la influencia del mortero en la resistencia a flexión con esfuerzos de tracción paralelos a la junta horizontal, utilizando unidades de mampostería hueca y sólida. En el programa experimental se utilizó unidades huecas de mampostería de concreto y bloques solidos de arcilla, morteros tipo S y N, cemento de mampostería y cemento Portland. El tamaño de la muestra fue de cinco muretes para cada combinación de unidad y mortero, mientras que la dimensión de los especímenes utilizados en esta investigación fue de 812 mm x 1 524 mm.

Aproximadamente la mitad de los muretes de mampostería fabricados en esta investigación fallaron en una línea totalmente recta, sin embargo, la parte restante falló en línea recta pero en la última hilada de bloques, la grieta se propagó a través de la junta horizontal, tal como se muestra en Figura 2.



Figura 2. Tipo de fractura presentada en la investigación *Flexural Bond Strength of Masonry Parallel to the Bed Joints*

Fuente: Brown & Melander, 2003

De los resultados de esta investigación se concluyó que la resistencia a flexión de la mampostería con esfuerzos de tracción paralelos a la junta horizontal, es función de factores más allá de la unión entre la unidad de mampostería y el mortero, debido a que el modo de falla en línea recta está relacionado con la resistencia a flexión de las unidades de mampostería, mientras que, el modo de falla escalonado está relacionado con la resistencia al cortante de las juntas horizontales de mortero, es decir, si la junta horizontal posee resistencia a cortante, es probable que el modo de falla sea en línea recta.

De los resultados de esta prueba se pudo observar que la resistencia a tracción de la mampostería con esfuerzos paralelos a la junta horizontal es mayor cuando se utiliza un mortero de mayor resistencia, en este caso mortero tipo S. Sin embargo, se observó un mayor incremento cuando se utilizó mortero tipo S con cemento Portland.

5. Determinación de la resistencia a tracción fuera del plano de la mampostería de bloques huecos de concreto (2009); Fernández Baqueiro, L. E., Flores Chan, R.A., Varela Rivera, J. L. & Vargas Marín G.

El objetivo de esta investigación fue estudiar el comportamiento de los muros de mampostería sujetos a cargas perpendiculares a su plano, evaluando experimentalmente la resistencia a tracción por flexión fuera del plano. De acuerdo con esta investigación, las variables que afectan la resistencia a tracción por flexión fuera del plano son el tipo de unidad de mampostería, el tipo de mortero y la adherencia bloque-mortero. Además, la resistencia con esfuerzos de tracción paralelos a la junta horizontal, está asociada a una falla por adherencia bloque-mortero (patrón escalonado) o una falla combinada por adherencia bloque-mortero y los esfuerzos de tracción en el bloque (patrón en línea recta).

De acuerdo con esta investigación, se determinó que la adherencia bloque-mortero depende de la absorción, rugosidad del bloque, cantidad de cemento, cantidad de agua presente en la mezcla de mortero y mano de obra. Incrementar la cantidad de cemento y la cantidad de agua mejora la adherencia bloque-mortero. Sin embargo, la cantidad de agua debe ser, únicamente, la necesaria para garantizar una buena trabajabilidad.

En la investigación realizada, se encontró que la adherencia bloque-mortero depende de la rugosidad de las unidades de mampostería, debido a que las unidades de mampostería poco rugosas o con capas de polvo poseen menor adherencia. También, se reduce la adherencia si se cuenta con mano de obra deficiente, es decir, aquella que se caracteriza por utilizar tiempos

prolongados de colocación de mortero y unidades de mampostería, juntas de mortero incompletas, movimientos para aplomar y nivelar bloques, y el uso de mortero endurecido.

Las variables utilizadas en esta investigación fueron dos tipos de bloques y dos tipos de morteros; el ancho de los especímenes fue de 1.20 m, mientras que, la longitud se escogió de modo tal que la carga de falla fuera igual o mayor del 50% de la suma del peso propio del equipo de carga y del espécimen. Para determinar esto, se construyó muretes de prueba. En el caso de los muretes con esfuerzos de tracción paralelos a junta horizontal, la longitud fue de 1.60 m.

Al analizar los datos de esta investigación, se observó que los muretes con esfuerzos paralelos a la junta horizontal, presentaron menor resistencia cuando la falla fue por adherencia bloque-mortero y fue mayor cuando se dio la falla combinada de adherencia bloque-mortero y resistencia a los bloques, lo cual se atribuyó a la poca rugosidad de los bloques empleados. Por otro lado, se observó que las unidades de mampostería que poseían mayor porcentaje de absorción presentaron menor resistencia a flexión, lo cual se debe a que los bloques de mampostería absorbieron gran cantidad del agua presente en la mezcla de mortero, reduciendo así la adherencia del mortero.

Por otro lado, se han desarrollado diversas investigaciones con otro tipo mampostería, principalmente con ladrillos de arcilla. Entre ellas se puede mencionar:

6. *Flexural Bond Strength of Clay Brick Masonry* (1995); Sharon L. Wood

Esta investigación muestra el resumen de 10 investigaciones experimentales desarrolladas en Estados Unidos y Canadá, entre 1980 y 1995, la cual buscaba evaluar la relación entre la resistencia a flexión de la mampostería y las características físicas de los ladrillos y unidades de mampostería.

De acuerdo con todos los datos recopilados, se observó que la resistencia a flexión de la mampostería no solo depende de las características individuales de la mampostería y el mortero, sino que también de la unión entre estos. Esto debido a que, al utilizar una unidad de mampostería con diferentes tipos de morteros (morteros con cemento Portland y cementos de mampostería) se obtienen resultados diferentes, por lo tanto, se concluyó que la resistencia a flexión depende de la combinación de mortero y unidad de mampostería.

Por otro lado, se observó que las unidades de mampostería con tasas de absorción inicial alta daban como resultado resistencias a la flexión menores. También, se observó que al utilizar mortero tipo M, la resistencia a flexión aumentaba cuando el flujo del mortero era mayor. Además, se determinó que la resistencia a flexión es independiente de la resistencia a compresión del mortero, debido a que no se observó una tendencia clara a lo largo de las investigaciones consultadas. En el caso del mortero tipo M, la resistencia a flexión aumentó con el incremento de la resistencia a compresión del mortero, en el caso del mortero tipo S, se observó lo contrario, la resistencia a flexión disminuyó con el incremento de la resistencia a compresión del mortero. Al utilizar mortero tipo N, no se observó un aumento o un incremento con la resistencia a compresión del mortero.

En las investigaciones experimentales consultadas, se observó que existen variaciones para las mismas condiciones, es decir, que al mantener constante las características de los materiales, los resultados son contrarios entre una y otra investigación, por lo tanto, esto es atribuido, principalmente, a la calidad de la mano de obra, ya que varios factores como la preparación del mortero, proceso de construcción, condiciones de curado, manejo de especímenes y proceso de prueba, tienen influencia en la medición de la resistencia a flexión de la mampostería.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Determinar el módulo de ruptura de mampostería traslapada con los esfuerzos de tracción por flexión en dirección paralela a las juntas horizontales.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Establecer un sistema constructivo para la confección de los muretes, proceso de izado y traslado de muretes hacia el dispositivo de falla.
2. Caracterizar los materiales utilizados en la fabricación de los muretes de mampostería.
3. Determinar el módulo de ruptura de los muretes de mampostería sin refuerzo, sin concreto de relleno, parcialmente rellenos y totalmente rellenos.
4. Analizar la relación entre el módulo de ruptura de los muretes de mampostería y los tipos de mortero utilizados.
5. Analizar la influencia de la condición de relleno en el módulo de ruptura.

6. Comprobar la relación existente del módulo de ruptura y la resistencia a compresión de la mampostería.
7. Comparar los valores obtenidos del módulo de ruptura para cada tipo murete con los valores que se obtienen al aplicar la ecuación del CSCR 2010-14 para mampostería parcialmente rellena y totalmente rellena.
8. Comparar los valores obtenidos del módulo de ruptura con los valores establecidos por el TMS para mampostería con esfuerzos de flexión paralelos a la junta horizontal.

1.3 Alcance

Con el fin de controlar cada variable del análisis experimental, se realizó la caracterización de los materiales empleados en la elaboración de los prismas y muretes de mampostería. Se realizó 9 cubos de mortero, 3 de cada tipo de mortero y 9 prismas de concreto de relleno, 3 por cada tipo de murete.

Con el objetivo de conocer la resistencia a compresión y la resistencia a flexión de la mampostería se realizó 18 prismas y 27 muretes de mampostería, respectivamente. Para ello, se utilizó un único fabricante de unidades de mampostería de concreto, unidades de mampostería con un espesor de 15 cm, un único fabricante de morteros preempacados tipo M, S y N, y un único fabricante de concreto de relleno preempacado.

Los prismas de mampostería se fabricaron según la norma INTE C55 (ASTM C1314), estos se realizaron sin concreto de relleno y totalmente rellenos, para cada grupo de prismas se utilizaron tres tipos de morteros preempacados.

La elaboración de los muretes de mampostería se realizó según la norma INTE C74 (ASTM E518) y se estudiaron tres tipos de mortero preempacados, con cada tipo de mortero se analizaron tres condiciones de relleno, mampostería sin relleno, mampostería parcialmente rellena y mampostería totalmente rellena. Estos especímenes se curaron durante 28 días, tal como lo establece cada norma.

Una vez que los especímenes se curaron, se procedió con la falla de estos, esto permitió determinar el módulo de ruptura de la mampostería costarricense con esfuerzos de tracción por flexión paralelos a la junta horizontal. Luego, se analizaron las posibles variables que influyen sobre el módulo de ruptura y se analizó la posible relación entre los valores de módulo de ruptura determinado experimentalmente y los valores encontrados a partir de la resistencia a compresión de la mampostería, tal y como lo sugiere el CSCR 2010-14, también, se analizaron

las posibles variables que influyen en el módulo de ruptura con esfuerzos de tracción por flexión paralelos a la junta horizontal.

1.4 Limitaciones

Las limitaciones encontradas en este proyecto de investigación son:

- Espacio disponible para la construcción y curado de los muretes, en el cual deben permanecer durante 28 días.
- La construcción de los especímenes se desarrolló en una ubicación cercana a la grúa de carga, esto con el fin de trasladar los especímenes hasta el montaje experimental, por lo que el espacio disponible para la construcción limitó la cantidad de especímenes desarrollados.
- Con el fin de controlar al máximo las variables ambientales, todos los especímenes de cada tipo de mortero, se construyeron en un solo día, por lo tanto, la cantidad de muretes se limitó a la cantidad de especímenes que el albañil pudo construir por día.
- No se registró la temperatura ambiente y la humedad relativa, debido a que no se contó con el aparato de medición necesario.

1.5 Metodología

En la Figura 3 se detalla la metodología aplicada en esta investigación, la cual consistió de 4 fases.

1.5.1 Fase 1: Revisión bibliográfica

En esta fase se realizó una consulta bibliográfica exhaustiva sobre las propiedades mecánicas de la mampostería, entre ellas la resistencia a compresión y la resistencia a flexión de la mampostería. Se investigó los factores que afectan la resistencia a flexión de la mampostería, es decir, la influencia del tipo de mortero empleado y del concreto de relleno en la resistencia a flexión y compresión de la mampostería. Se identificaron las normas INTE o ASTM aplicables al proceso experimental de esta investigación.

1.5.2 Fase 2: Implementación de ensayos

En esta fase se realizó la caracterización de materiales utilizados en la elaboración de los prismas y muretes de mampostería. Se determinó las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de mampostería y de cada tipo de mortero.

Se elaboró los 18 prismas de mampostería y los 27 muretes de mampostería. Posteriormente, se realizó la falla de los especímenes según la norma correspondiente.

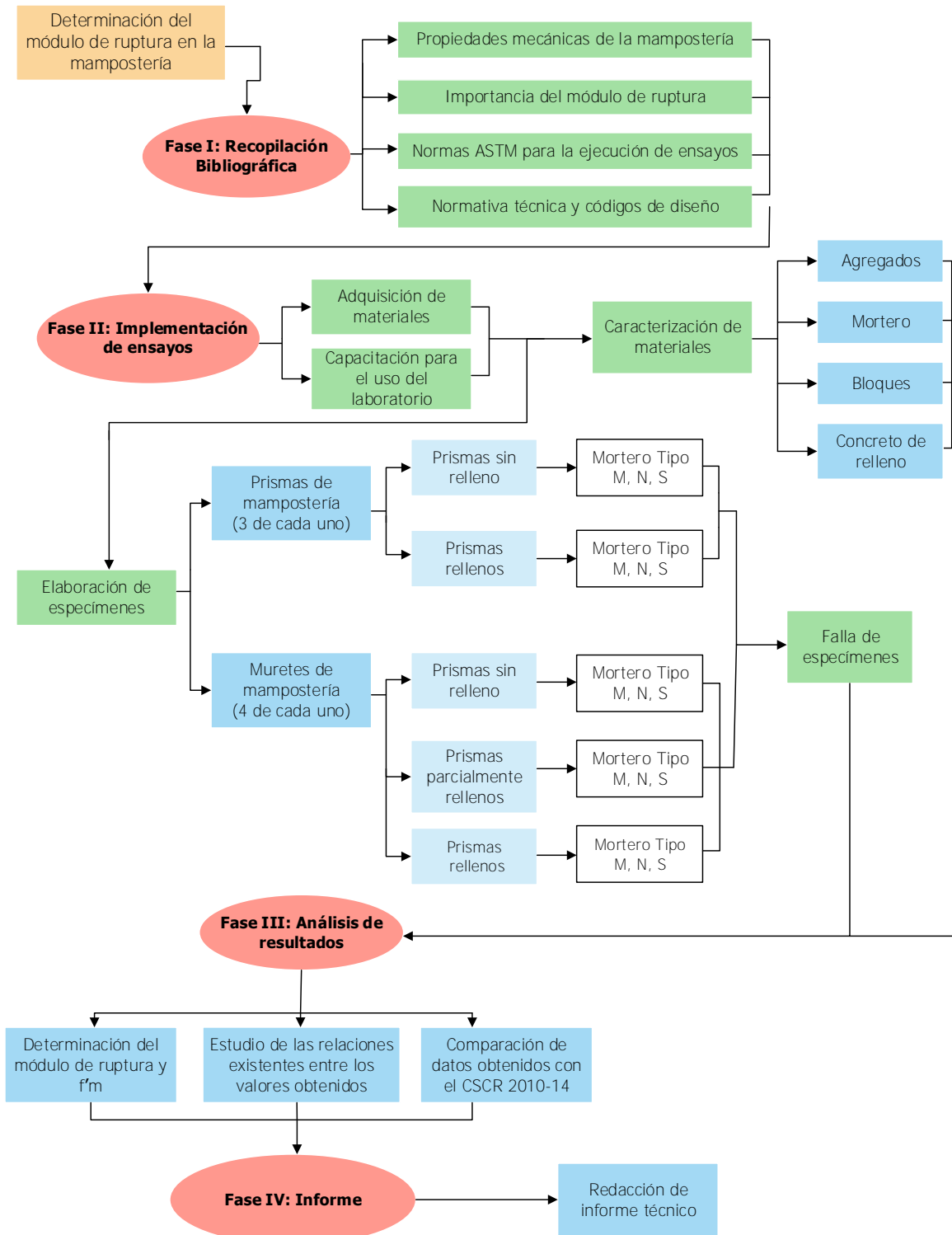


Figura 3. Metodología de investigación

1.5.3 Fase 3: Análisis de resultados

En la tercera fase se describió los resultados obtenidos de los ensayos realizados, según el tipo de espécimen. Se determinó el módulo de ruptura en cada grupo de muretes y analizó la influencia que posee cada variable en el módulo de ruptura, es decir, como varía el módulo de ruptura en mampostería sin relleno, parcialmente rellena o totalmente rellena, y a su vez, cómo influye la resistencia del mortero empleado.

También se analizó, la influencia de la resistencia a compresión sobre el módulo de ruptura de la mampostería de concreto y se realizó la comparación entre los valores del módulo de ruptura experimentales, el módulo de ruptura calculado a partir de las ecuaciones del CSCR 2010-14 y los valores establecidos por el código TMS.

1.5.4 Fase 4: Informe final

Con base en la información recopilada en la fase 1 y el análisis de resultados, se realizó un informe técnico. En el informe se definió todas las variables que tienen efecto sobre el módulo de ruptura de la mampostería traslapada con esfuerzos de tracción paralelos a las juntas horizontales.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1 Mampostería

La mampostería es una de las formas más antiguas de construcción, se ha utilizado para la edificación, desde viviendas hasta grandes pirámides. Según Narendra (2010), el término mampostería hace referencia a la unión de piezas de arcilla, piedra, vidrio, bloques de concreto, o una combinación de estos mediante el mortero.

La mampostería es un sistema constructivo heterogéneo, es decir, está compuesto por varios elementos, como la unidad de mampostería, mortero y concreto de relleno. De acuerdo con Amrhein (2012), el comportamiento y el rendimiento de los conjuntos de mampostería no solo dependen de las propiedades de estos materiales, sino de la interacción entre ellos.

Durante un evento sísmico, los elementos de mampostería, principalmente, los muros deben asegurar la estabilidad global de la estructura, por lo tanto, éstos deben tener las propiedades mecánicas adecuadas para resistir los esfuerzos que se presenten; esto implica que la resistencia de la mampostería debe garantizar un desempeño adecuado de la estructura. Vasconcelos (2015), establece que la resistencia de la mampostería, al ser un elemento compuesto, depende de las propiedades mecánicas de cada elemento individual, por lo tanto, cada componente de la mampostería es crítico para cumplir con los requerimientos de resistencia.

2.1.1 Unidad de mampostería

Las unidades de mampostería son unidades prefabricadas de arcilla, concreto, vidrio, piedras naturales o similares, que se unen mediante mortero, con el fin de formar paredes o elementos estructurales (Navas & Salazar, 2014). Debido a que cada unidad es de un material diferente, cada una posee propiedades diferentes entre sí.

Farny, Melander y Panarese (2008), reconocen que las unidades de concreto son comúnmente utilizadas en muchas regiones debido a que al estar compuestas de concreto poseen características muy similares a este, convirtiéndose en una alternativa barata, funcional y resistente.

De acuerdo con Vasconcelos (2015), existen dos propiedades principales de las unidades de concreto que influyen en la resistencia de la mampostería, tasa de absorción inicial de los bloques y la resistencia a compresión de la unidad.

La tasa de absorción se relaciona directamente con la capacidad de lograr una buena unión entre la unidad de mampostería y el mortero, esto se debe a que, si la tasa de absorción es muy alta, el mortero perderá agua al entrar en contacto con bloque, lo cual produce que el mortero se endurezca rápidamente y por ende, no desarrolle toda la resistencia, convirtiéndose así en una unión débil. (Drysdale y Hamid, 1994)

Mientras que, la variación de la resistencia a compresión del bloque es un indicador general de resistencia a compresión de la mampostería, conforme aumenta la resistencia a compresión de la unidad, también incrementa la resistencia a compresión de la mampostería. (Navas, 2007)

2.1.2 Morteros

El mortero es un material formado por un conglomerante, arena, agua y en algunos casos se utilizan aditivos para mejorar una o varias propiedades del material, como por ejemplo trabajabilidad, permeabilidad, resistencia, entre otros. (Arias, 2012)

Poveda (1999), describe que el mortero se utiliza para unir las unidades de mampostería entre sí por medio de adherencia, y al utilizar escalerillas, también tiene la función de adherir el refuerzo horizontal a las unidades de mampostería. También menciona que el mortero es un elemento muy importante de la mampostería, ya que evita que el agua y el aire se introduzcan en el interior de las unidades de mampostería, previniendo de esta manera, la corrosión del acero de refuerzo.

Los morteros se clasifican según su resistencia a compresión en morteros tipo M, tipo S y tipo N. A nivel internacional, la norma ASTM C91 establece la resistencia a compresión mínima a los 28 días de cada uno de estos morteros, el mortero tipo N debe tener una resistencia a compresión mínima de 63,3 kg/cm², el mortero tipo S debe tener una resistencia a compresión mínima de 147 kg/cm² y el mortero tipo M debe poseer una resistencia a compresión mínima de 204 kg/cm².

En Costa Rica, el CSCR (2010-14) define que los tipos de mortero utilizados son tipo A, con una resistencia de 175 kg/cm², tipo B con resistencia a compresión de 126 kg/cm² y mortero

tipo C con una resistencia de 53,0 kg/cm², estos representan los morteros tipo M, tipo S y tipo N, respectivamente.

2.1.3 Concreto de relleno

Narendra (2010), define que el concreto de relleno es una mezcla de materiales cementicios, agregados y la cantidad de agua necesaria para obtener altos revenimientos, esto con el fin de lograr una fluidez que le permita a la mezcla viajar por las celdas de mampostería. De esta manera, todas las celdas donde existe acero de refuerzo quedan totalmente rellenas de concreto. Además, establece que el concreto de relleno permite que las unidades de mampostería trabajen como una unidad, lo cual trae grandes beneficios, ya que al rellenar las celdas el área de la sección incrementa, y por ende, la resistencia a cargas de compresión aumenta. También, aumenta la rigidez de las caras de la unidad mampostería y por lo que la resistencia a las cargas laterales es mayor. Según Amrhein (2012), esto sucede porque ante condiciones de carga, las fuerzas se transmiten de la mampostería al concreto de relleno y posteriormente, este transfiere las cargas al acero de refuerzo.

De acuerdo con Navas (2007), la mampostería rellena presenta una menor resistencia a compresión en comparación con la mampostería sin relleno, sin embargo, al aumentar la resistencia del concreto de relleno, f_g , la resistencia a compresión de la mampostería también aumenta. Además, según Drysdale y Hamid (1988), la resistencia a flexión con esfuerzos de tracción paralelos a la junta horizontal tiende a aumentar cuando las celdas de la mampostería se rellenan.

2.2 Resistencia a compresión de la mampostería

La resistencia a compresión de la mampostería es función de la interacción de las unidades de mampostería, mortero y concreto de relleno. De acuerdo con Amrhein (2012), la interacción entre estos elementos se da al soportar las cargas de compresión aplicadas directamente a la mampostería, donde cada componente soporta un porcentaje de la carga en función de su rigidez. Narendra (2010) menciona que los elementos de mampostería deben ser de igual o mayor resistencia a compresión de la mampostería, con el fin de que esta no esté limitada por la baja capacidad que alguno de los elementos posea.

Para determinar la resistencia a compresión que la mampostería, se realizan prismas de mampostería, los cuales presentan diferentes modos de falla, según el tipo de colocación de mortero, ya sea, en todas las caras y almas o únicamente en las caras de la unidad de

mampostería y según la condición de relleno. Dichos modos de falla han sido documentados y explicados, y son aplicables, únicamente, cuando la resistencia a compresión de las unidades de mampostería es mayor que la resistencia a compresión del mortero. (Drysdale & Hamid, 1994)

La resistencia a compresión de los prismas de mampostería es mayor que la resistencia de los cubos de mortero y es más baja que la resistencia a compresión de las unidades de mampostería. Ante esfuerzos de compresión, el material más débil, el mortero, se extiende lateralmente más rápido que el material más fuerte, la unidad de mampostería; por lo tanto, la unidad de mampostería restringe la expansión del mortero, confinándolo y creando un estado de compresión triaxial, lo que le permite al mortero soportar mayores cargas, mientras tanto, se desarrollan esfuerzos de tracción axial en las caras externas de las unidades de mampostería. Al alcanzar la resistencia máxima ante esfuerzos de tracción, las unidades de mampostería se agrietan y el prisma falla. (Drysdale & Hamid, 1994)

Según Drysdale y Hamid (1994), cuando los prismas de mampostería se rellenan con concreto de relleno, la resistencia a compresión se reduce; esto se debe principalmente a las fuerzas de tracción que se generan durante la contracción plástica del concreto relleno, lo cual, sumado a las grandes deformaciones laterales del mortero y del concreto de relleno, produce un agrietamiento de las caras externas y con ello, la falla del prisma.

La resistencia a compresión de los prismas se puede relacionar con la resistencia a compresión del mortero: a mayor resistencia de mortero, mayor resistencia del prisma de mampostería, sin embargo, los aumentos en la resistencia del prisma son menos significativos al utilizar morteros de mayores resistencias. Además, se ha observado que tanto en prismas sin concreto de relleno, como en prismas con concreto de relleno, la resistencia a compresión del mortero no tiene un efecto significativo, tal y como se observa en la Figura 4. Sin embargo, se ha observado que la resistencia a compresión de los prismas de mampostería es directamente proporcional a la resistencia de las unidades de mampostería, lo cual se puede apreciar en la Figura 5. (Drysdale & Hamid, 1994)

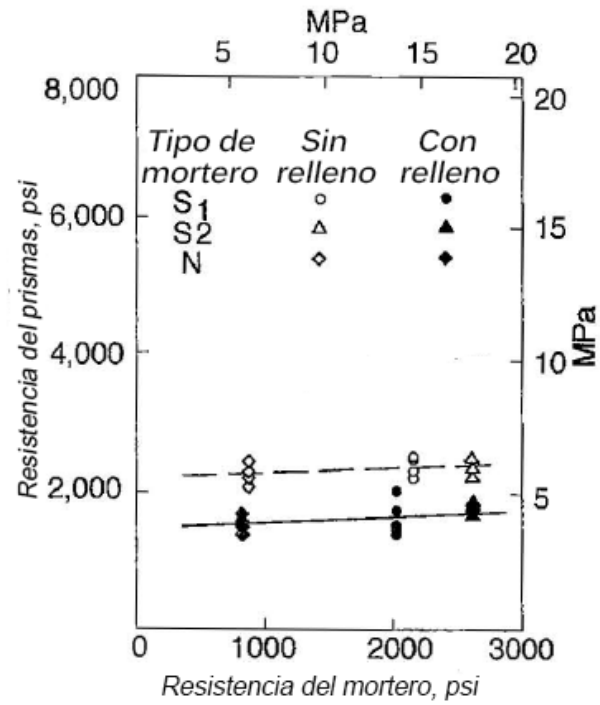


Figura 4. Relación entre la resistencia a compresión de prismas de mampostería y mortero
Adaptado de Hamid & Drysdale, 1994

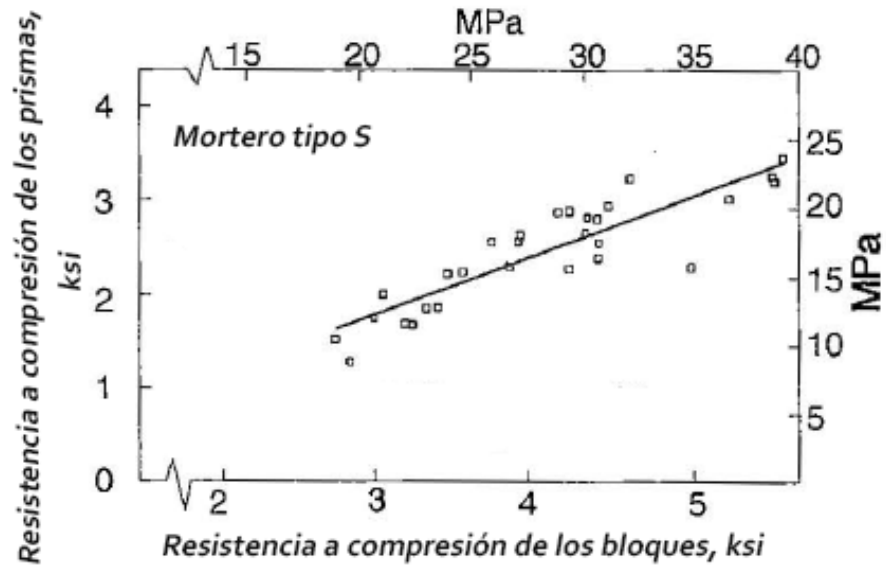


Figura 5. Relación entre la resistencia a compresión de prismas de mampostería y bloques
Adaptado de Hamid & Drysdale, 1994

2.3 Resistencia a flexión de la mampostería

Un elemento de mampostería se comporta como cualquier otro elemento estructural. Cuando los elementos estructurales son sometidos a esfuerzos de flexión, un lado del elemento resiste los esfuerzos de compresión, mientras, que el otro lado resiste los esfuerzos de tracción.

Las unidades de mampostería de concreto poseen un comportamiento similar al concreto, debido a que están fabricadas de este material, por ello, las unidades de mampostería tienen resistencias de tracción relativamente bajas. Amrhein (2012), explica que cuando un elemento de mampostería es sometido a esfuerzos de flexión, la mampostería empieza a tomar los esfuerzos de tracción hasta que se supera el momento de agrietamiento, lo cual origina el agrietamiento completo de la sección, produciendo así la falla frágil del elemento. Con el fin de prevenir este comportamiento, los elementos de mampostería deben ser reforzados con acero. Entonces, el acero de refuerzo en el interior de la mampostería toma los esfuerzos de tracción, mientras que las unidades de mampostería toman los esfuerzos de compresión.

El CSCR (2010-14) establece en la sección 9.8.5 que el momento de agrietamiento, M_{cr} , se calcula según la ecuación (1), el cual depende del módulo de sección, S , y del módulo de ruptura del elemento, f_r .

$$M_{cr} = S \cdot f_r \quad (1)$$

En la sección 9.5.2.a del CSCR (201-14) se define el módulo de ruptura como el esfuerzo de tracción máximo que puede soportar la mampostería.

En el caso de la mampostería, el módulo de ruptura depende de la resistencia de la unión entre los bloques de concreto y del mortero de pega, es decir, de la resistencia de la junta horizontal. Tal y como se describió, en la Figura 6 se puede observar que la ruptura a lo largo de la junta horizontal depende de la resistencia a flexión perpendicular de la junta, mientras que la ruptura a lo largo de la junta vertical, depende de la resistencia a flexión paralela de la junta horizontal, tal y como menciona Mohammed (2001). El módulo de ruptura de la mampostería, f_r , se determina mediante el ensayo INTE C74, dicha norma establece que el módulo de ruptura se calcula en función de la máxima carga aplicada y se determina con la expresión (2).

$$f_r = \frac{(0,167P_{m\acute{a}x} + 0,125 P_s)l}{S} \quad (2)$$

Donde $P_{m\acute{a}x}$ es la carga máxima aplicada, P_s es el peso propio del espécimen, l es la luz entre apoyos y S es el módulo de sección del área neta.

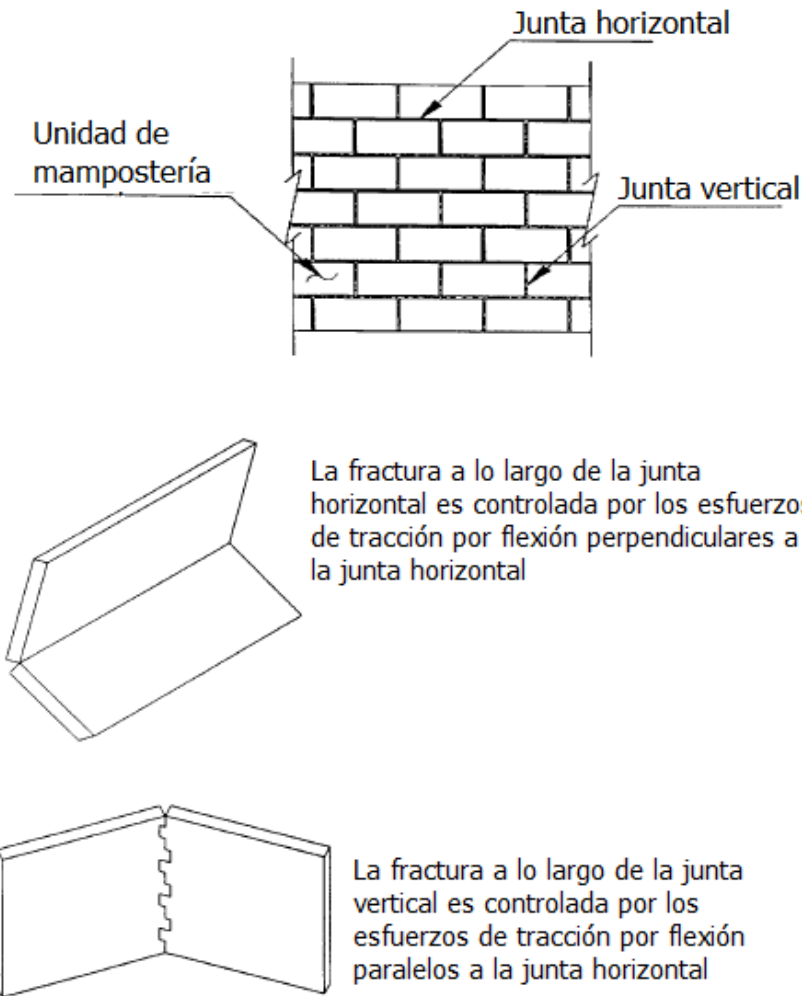


Figura 6. Tipo de fractura según la dirección de los esfuerzos de tracción
Adaptado de Mohammed, 2001

Drysdale y Hamid (1994) explican que los muros de mampostería se encuentran sujetos a cargas fuera del plano, como viento, sismo, presiones de suelo, entre otras. Dichas cargas pueden generar esfuerzos de flexión alrededor del eje vertical, alrededor del eje horizontal o ambos; por esta razón, la resistencia a los esfuerzos de flexión es usualmente referida en términos de la dirección de los esfuerzos de tracción.

Los elementos de mampostería pueden ser sometidos a esfuerzos de flexión en ambos ejes, vertical u horizontal, debido a fuerzas fuera del plano o fuerzas en el plano. Por ejemplo, una viga de mampostería que resiste las cargas de un techo o las cargas de un segundo nivel, experimentará esfuerzos de tracción paralelos a la junta horizontal, tal y como se puede observar en la Figura 7. En esta figura, los esfuerzos de tracción debidos a la flexión se desarrollan en dirección paralela a las juntas horizontales. Otro ejemplo de esfuerzos de tracción paralelos a la junta horizontal sería el caso de una viga o un muro con cargas perpendiculares a su plano, tal como se aprecia en la Figura 8.

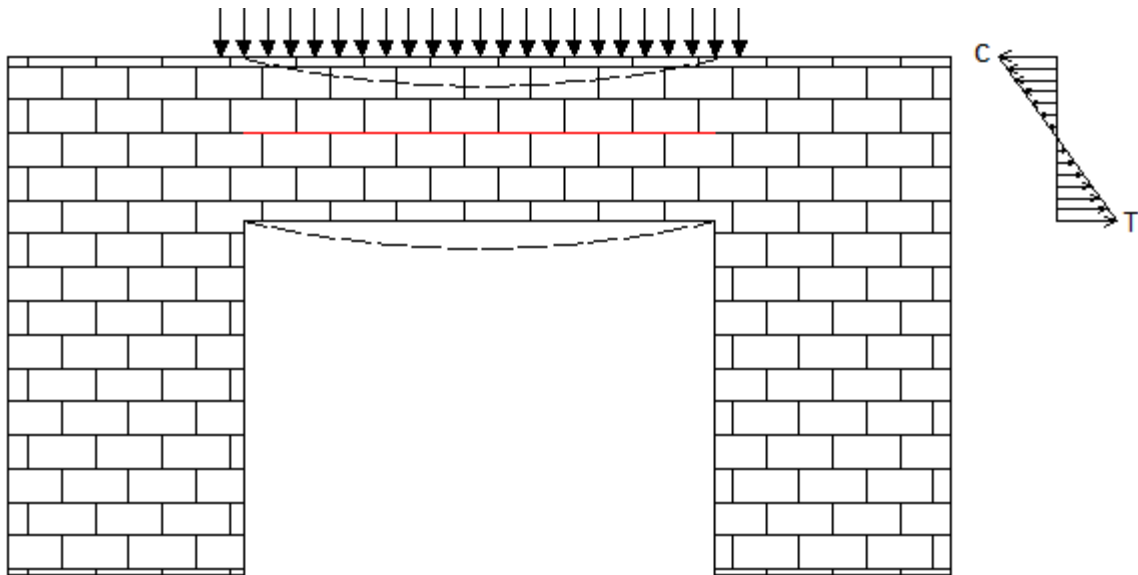


Figura 7. Viga sometida a esfuerzos de flexión

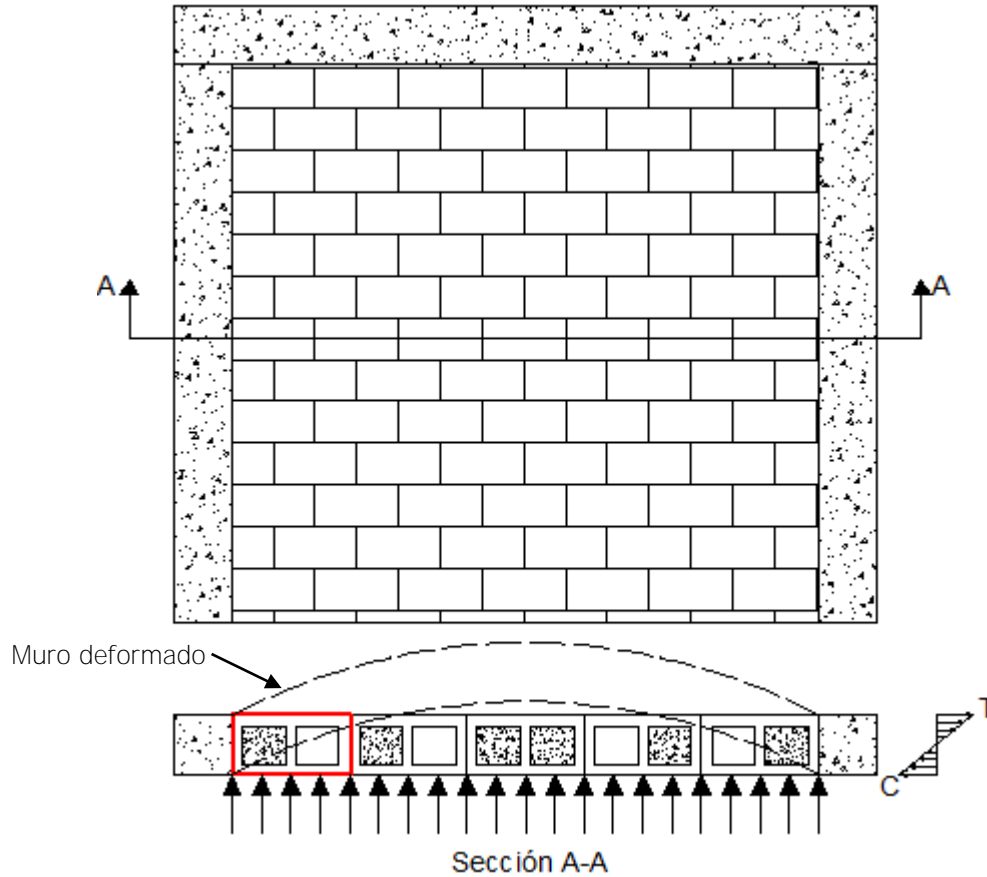


Figura 8. Muro con cargas perpendiculares a su plano

Por otro lado, un muro de corte sometido a cargas paralelas a su plano, presenta esfuerzos de tracción en dirección perpendicular a la junta horizontal, tal y como aprecia en la Figura 9. Otro ejemplo de elementos con esfuerzos de tracción perpendiculares a la junta horizontal es el caso de un muro esbelto sometido a fuerzas fuera de plano, tal y como se aprecia en la Figura 10.

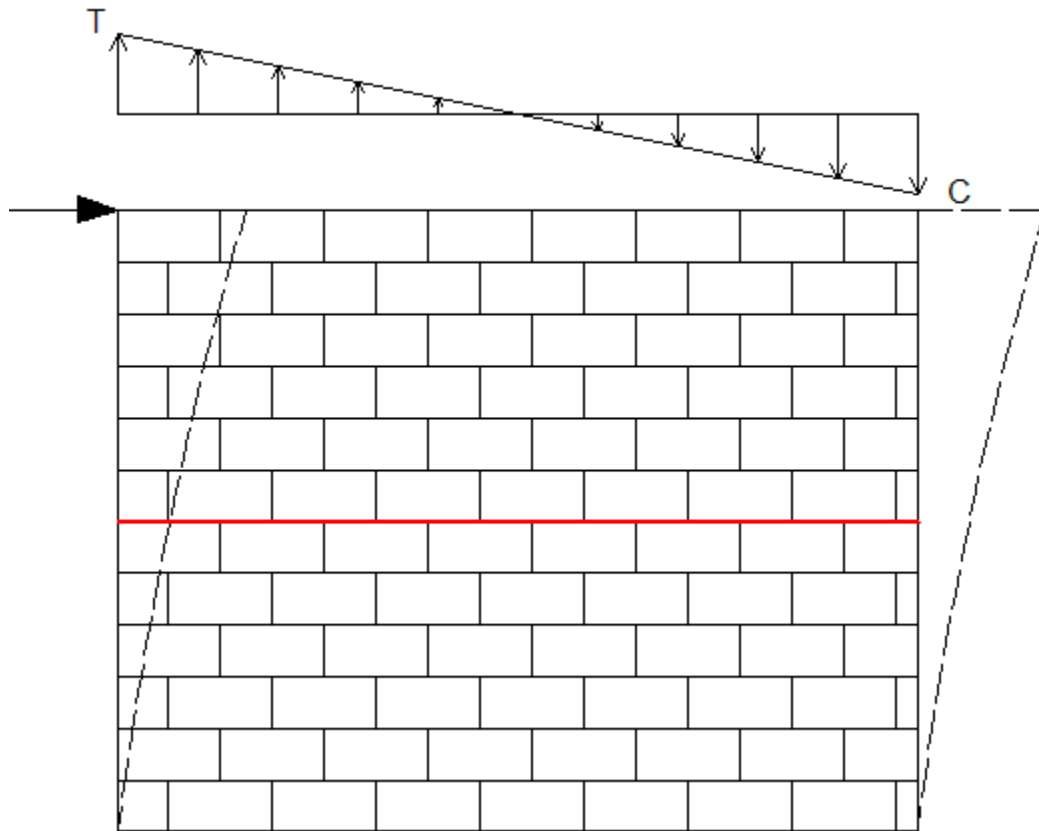


Figura 9. Muro de corte con carga paralela a su plano

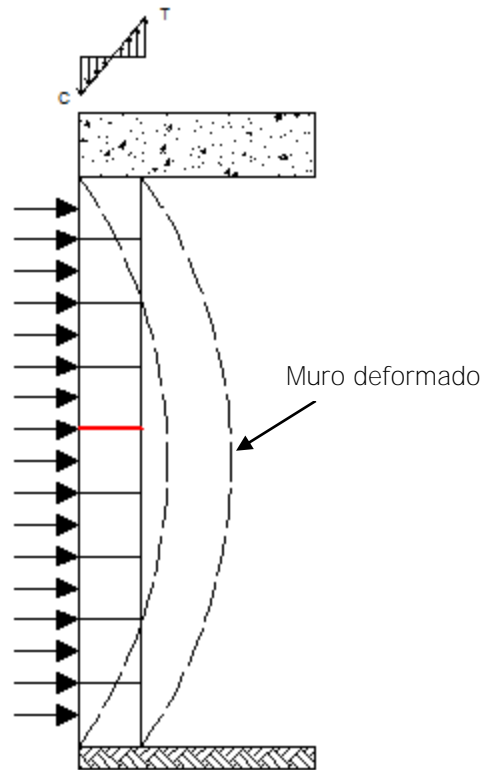


Figura 10. Muro esbelto con cargas perpendiculares a su plano

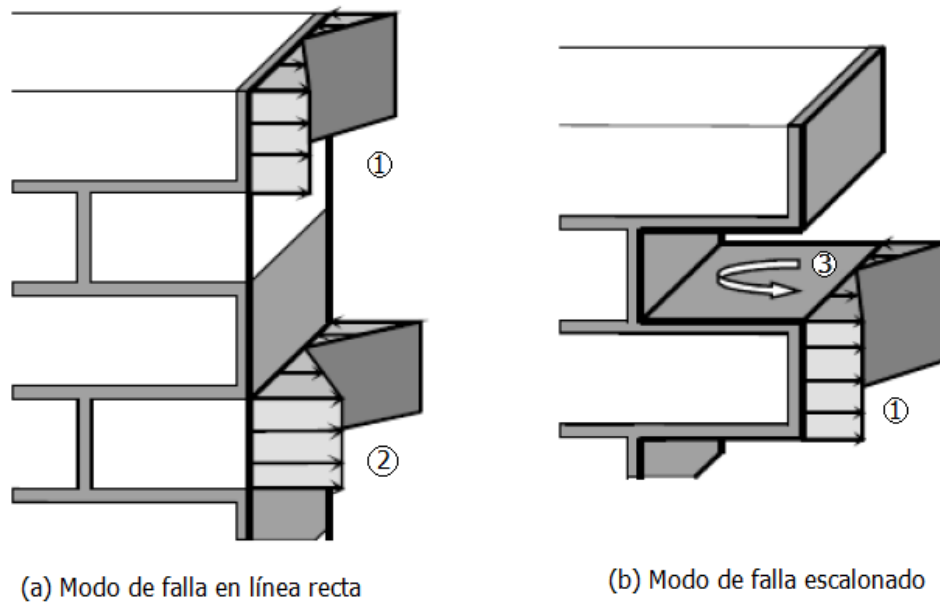
Cuando los muros de mampostería son sometidos a este tipo de cargas, el módulo de ruptura es importante, debido a que define la capacidad en flexión que posee el muro sin refuerzo. En este punto, la resistencia de tracción por flexión paralela y normal a las juntas horizontales está directamente relacionada con el módulo de ruptura. Mohammed (2001) menciona que la resistencia a flexión en sentido paralelo a la junta horizontal es entre dos y cuatro veces más alta que la resistencia a flexión en sentido perpendicular a la junta horizontal.

Adicionalmente, Hamid y Drysdale (1998) establecen que el módulo de ruptura depende de la condición de relleno de la mampostería; cuando la mampostería se encuentra rellena, el módulo de ruptura tiende a ser mayor.

Cuando los esfuerzos de tracción se presentan en dirección paralela a la junta horizontal, se presentan dos modos de falla, el primero corresponde a una línea vertical, donde las unidades de mampostería se agrietan en conjunto con las juntas verticales, mientras que, el segundo modo de falla sigue un patrón escalonado, tal y como se aprecia en la Figura 11. El primer modo de falla se presenta generalmente cuando la unidad de mampostería

posee una resistencia baja en tracción, en comparación con la resistencia a tracción de la unión entre la unidad de mampostería y el mortero (BIU, 2013).

Cuando se produce el modo de falla en línea recta, la resistencia a flexión se debe a dos mecanismos, el primero es la resistencia a tracción de la junta vertical, y el segundo se debe a la resistencia a tracción de las unidades de mampostería, tal y como se aprecia en la Figura 11 (a). Cuando se genera un modo de falla escalonado, la resistencia a flexión se debe a las juntas verticales de mortero y a la resistencia cortante torsional de las juntas horizontales como se aprecia en la Figura 11 (b) (BIU, 2013).



Notas:

- ① Resistencia a tracción del mortero
- ② Resistencia a tracción del bloque
- ③ Resistencia cortante torsional de la junta horizontal

Figura 11. Tipo de fractura según la dirección de los esfuerzos de tracción

Adaptado de BUI, 2013

Capítulo 3. Materiales

Los materiales utilizados en el desarrollo de los ensayos experimentales se caracterizaron de acuerdo con lo establecido por la norma INTE C74 o ASTM E518. Esta norma indica que se deben caracterizar las unidades de mampostería y el mortero utilizado en la construcción de los muretes. El Cuadro 1 resume los ensayos realizados.

Cuadro 1. Ensayos realizados para la caracterización de los materiales empleados

Material	Norma	Ensayo
Mampostería	INTE C50 o ASTM C140	Caracterización de las unidades de mampostería de concreto
Mortero	INTE C143 ASTM C1437	Medición de flujo
	INTE C57 o ASTM C109	Resistencia a compresión
	INTE C148 o ASTM C1506	Retención de agua

3.1 Unidades de Mampostería

Para la construcción de los muretes de mampostería se utilizó bloques estándares de 15 cm x 20 cm x 40 cm. En el proceso constructivo se empleó dos lotes de bloques, los cuales se recibieron en fechas diferentes, por lo que se asumió que se fabricaron en fechas diferentes. Por lo tanto, es necesario caracterizar ambos lotes con muestras representativas, según lo establecido en la norma INTE C50 o ASTM C140. En la Figura 12 se muestra una imagen con cada una de las dimensiones tomadas. En Cuadro 2 se muestra el resumen de las dimensiones de los bloques para el lote 1, y en el Cuadro 3 se muestra el resumen de las dimensiones de los bloques del lote 2.

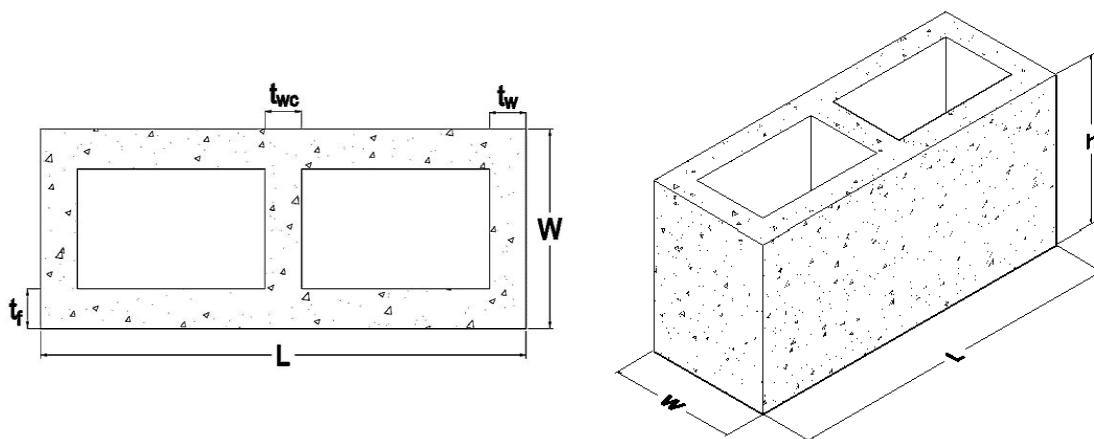


Figura 12. Dimensiones tomadas en cada bloque

Cuadro 2. Dimensiones de los bloques del lote 1

Bloque	1	2	3	Promedio (mm)
H	190	190	188	190
L	390	391	390	390
W	150	150	150	150
t_w	26,8	26,5	26,3	26,5
t_{wc}	29,0	30,0	28,0	29,0
t_r	28,5	28,3	28,3	28,3

Cuadro 3. Dimensiones de los bloques del lote 2

Bloque	1	2	3	Promedio
H	188	190	191	190
L	389	389	389	389
W	150	150	150	150
t_w	28,0	28,8	28,0	28,3
t_{wc}	29,0	31,5	31,0	30,5
t_r	29,5	29,5	30,5	29,8

También se realizó pruebas de absorción, contenido de humedad, densidad, área neta y área bruta para ambos lotes. El Cuadro 4 y el Cuadro 5 muestran el resumen de estas propiedades.

Cuadro 4. Propiedades de los bloques, lote 1

Propiedad	1	2	3	Promedio	Valor indicado por la norma INTE C90
W_r (kg)	12,0	12,0	12,02	11,99	-
W_i (kg)	7,06	7,08	7,06	7,07	-
W_s (kg)	12,6	12,73	12,65	12,68	-
W_d (kg)	11,8	11,83	11,82	11,81	-
Absorción (kg/m³)	153	159	149	154	Máximo 208
Absorción (%)	7,27	7,60	7,05	7,31	-
Humedad (%)	20,8	18,6	24,1	21,2	-
Densidad (kg/m³)	211x10 ¹	209x10 ¹	211x10 ¹	210x10 ¹	Mayor o igual que 200 x10 ¹
Área neta (mm²)	294x10 ²	295x10 ²	295x10 ²	295x10 ²	-
Área bruta (mm²)	585x10 ²	587x10 ²	585x10 ²	586x10 ²	-

Cuadro 5. Propiedades de los bloques, lote 2

Propiedad	1	2	3	Promedio	Valor indicado por la norma INTE C90
W_r (kg)	12,8	12,85	12,92	12,84	-
W_i (kg)	7,41	7,47	7,50	7,46	-
W_s (kg)	13,3	13,39	13,46	13,40	-
W_d (kg)	12,5	12,60	12,68	12,60	-
Absorción (kg/m³)	139	132,80	131,63	134,53	Máximo 208
Absorción (%)	6,60	6,24	6,18	6,34	-
Humedad (%)	28,1	31,60	30,97	30,22	-
Densidad (kg/m³)	211x10 ¹	213x10 ¹	213x10 ¹	212x10 ¹	Mayor o igual a 200 x10 ¹
Área neta (mm²)	314x10 ²	312x10 ²	314x10 ²	314x10 ²	-
Área bruta (mm²)	585x10 ²	585x10 ²	585x10 ²	585x10 ²	-

Adicionalmente, se determinó la resistencia a compresión de las unidades de mampostería para cada lote. El Cuadro 6 y el Cuadro 7 resumen los resultados de dicha prueba para el lote 1 y lote 2 respectivamente.

Cuadro 6. Resistencia de los bloques a compresión, lote 1

Bloque	Fuerza (kN)	Área neta (mm ²)	Resistencia (MPa)	Resistencia (kg/cm ²)
1	652	295x10 ²	22,2	226
2	645	295x10 ²	21,7	221
3	666	295x10 ²	22,6	230
Promedio				226
Valor mínimo indicado en el CSCR 2010-14				133

Cuadro 7. Resistencia de los bloques en compresión, lote 2

Bloque	Fuerza (kN)	Área neta (mm ²)	Resistencia (MPa)	Resistencia (kg/cm ²)
1	714	313x10 ²	22,7	231
2	731	313x10 ²	23,4	238
3	649	313x10 ²	20,7	210
Promedio				227
Valor mínimo indicado en el CSCR 2010-14				133

El CSCR 2010-14 establece que para bloques de mampostería Clase A, la resistencia promedio en compresión debe ser al menos de 133 kg/cm² a los 28 días sobre el área neta. Como se puede observar en los cuadros anteriores, ambos lotes poseen una resistencia a compresión promedio 70,0% mayor que la establecida por el CSCR 2010-14.

3.2 Mortero

Para la construcción de los muretes se utilizó mortero preempacado tipo N, tipo S y tipo M. A cada uno de estos morteros se les realizó las pruebas exigidas por la norma INTE C74 (ASTM E518).

3.2.1 Mortero N

El CSCR 2010-14 establece que la resistencia a compresión mínima del mortero clase C debe ser de 53,0 kg/cm². Para determinar la resistencia a compresión del mortero tipo N, se realizaron pruebas de compresión a 3 cubos de mortero a los 28 días y se obtuvo una resistencia de 55,7 kg/cm². El resumen de los resultados se puede apreciar en el Cuadro 8, en donde se indica el flujo de la mezcla.

Cuadro 8. Resistencia a compresión del mortero N

Cubo	Flujo	Resistencia de mortero a 28 días (kg/cm²)
1	118	57,1
2	118	57,1
3	188	53,0
Promedio		55,7
Valor mínimo indicado en el CSCR 2010-14		53,0

También se determinó el porcentaje de retención de agua que presenta este mortero, para ello se midió el flujo antes de aplicar una presión de vacío de 55,0 kPa y posterior al vacío según la norma INTE C148 (ASTM C1506). En el Cuadro 9 se observa que el mortero N posee un 83,8 % de retención de agua.

Cuadro 9. Retención de agua, mortero N

Medición	Flujo antes del vacío	Flujo después del vacío
1	29,5	24,0
2	29,0	25,0
3	29,5	24,5
4	29,0	24,5
Total	117	98,0
Retención de agua (%)		83,8

3.2.2 Mortero S

De acuerdo con el CSCR 2010-14, la resistencia mínima en compresión del mortero clase B, tipo S, debe ser de 126 kg/cm². La resistencia a compresión del mortero tipo S se determinó realizando pruebas a 3 cubos a los 28 días y se obtuvo una resistencia de 136 kg/cm². Los resultados se pueden apreciar en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Resistencia a compresión del mortero S

Cubo	Flujo	Resistencia de mortero a 28 días (kg/cm ²)
1	118	135
2	118	135
3	118	139
Promedio		136
Valor mínimo indicado en el CSCR 2010-14		126

Para el mortero S se obtuvo una retención de agua de 82,56%, lo cual se determinó mediante la prueba indicada en la norma INTE C148 (ASTM C1506), realizando una medición de flujo antes y después de aplicar una presión de vacío de 55 kPa. El Cuadro 11 presenta un resumen de estos valores.

Cuadro 11. Retención de agua, mortero S

Medición	Flujo antes del vacío	Flujo después del vacío
1	29,5	25,0
2	30,0	22,0
3	29,0	25,0
4	29,0	25,0
Total	118	97,0
Retención de agua (%)		83,0

3.2.3 Mortero M

El CSCR 2010-14 establece que la resistencia a compresión mínima del mortero clase A debe ser de 175 kg/cm². Para determinar la resistencia a compresión del mortero tipo M, se realizaron pruebas a 3 cubos de mortero a los 28 días y se obtuvo una resistencia promedio de 175 kg/cm². Los resultados se pueden apreciar en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Resistencia a compresión del mortero M

Cubo	Flujo	Resistencia de mortero a 28 días (kg/cm²)
1	113	175
2	113	171
3	113	179
Promedio		175
Valor mínimo indicado en el CSCR 2010-14		175

Para el mortero tipo M, se obtuvo un 82,9 % de retención de agua. El Cuadro 13 muestra un resumen del flujo antes y después de aplicar una presión de vacío de 55,0 kPa.

Cuadro 13. Retención de agua, mortero M

Medición	Flujo antes del vacío	Flujo después del vacío
1	28,0	22,5
2	28,0	22,0
3	27,5	23,5
4	27,5	24,0
Total	111	92,0
Retención de agua (%)		82,9

En el Cuadro 14 se muestra un resumen de las propiedades de cada tipo de mortero utilizado durante la fase constructiva.

Cuadro 14. Resumen de las propiedades de cada mortero utilizado

Mortero	Resistencia (kg/cm²)	Valor mínimo indicado la INTE C91	Retención de agua (%)
N	55,7	53,0	83,8
S	136	126	82,6
M	175	175	82,9

Capítulo 4. Método constructivo y experimental

De acuerdo con el TMS 402/602, el módulo de ruptura varía en función del tipo de mortero y de la condición de relleno de los especímenes; por esta razón, se utilizó 3 tipos de morteros y se realizaron 3 muretes por condición de relleno, para un total de 27 muretes.

Con el fin de tener control sobre cada una de las variables que participa en el proceso constructivo, se utilizó la misma mano de obra para todos los muretes, concreto de relleno preempacado de un mismo fabricante y mortero preempacado de un mismo fabricante, con el fin de reducir al máximo las variables constructivas y además facilitar el proceso constructivo.

Debido a que los muretes sin concreto de relleno son más frágiles que el resto de los muretes, estos se construyeron sobre piezas de madera, lo que permitió que su manipulación fuera más segura.

Por otro lado, con el fin de determinar la cantidad de agua a utilizar en cada tipo de mortero, antes de iniciar el proceso constructivo, se realizaron pruebas de flujo utilizando una cantidad de agua potable según los rangos establecidos por la especificación del fabricante; de esta manera, se escogió la cantidad de agua que proporcionó un flujo de $110 \pm 10,0$, con el fin de asegurar una adecuada trabajabilidad en cada mortero utilizado.

4.1 Tamaño de los especímenes

La norma INTE C74 (ASTM E518) establece que la altura mínima de los especímenes debe ser de 460 mm con juntas de $10 \pm 1,50$ mm de espesor y se debe conservar una relación longitud libre y ancho, mínima de 2,50. Con base en estas dos limitaciones y considerando el costo del procedimiento experimental, se realizaron muretes de 120 cm x 60,0 cm, con juntas de $10 \pm 5,00$ mm de espesor. La Figura 13 muestra el tamaño y distribución de las unidades de mampostería en los especímenes desarrollados.

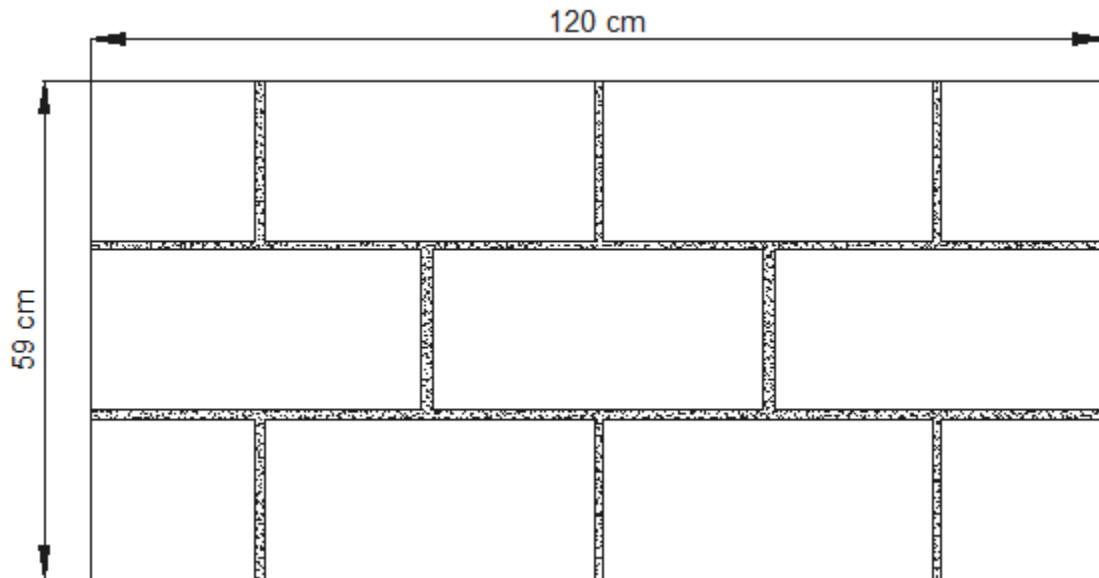


Figura 13. Tamaño de los especímenes experimentales (elevación)

4.2 Proceso constructivo

Debido a que el tipo de mortero es la variable más influyente en el módulo de ruptura, el proceso constructivo se dividió en tres etapas, cada una correspondiente a cada tipo de mortero. Posteriormente, dentro de cada etapa se realizaron tres tipos de muretes según su condición de relleno. La Figura 14 muestra un resumen de la metodología constructiva aplicada.

Además, de manera paralela a la construcción, se realizaron 6 prismas de mampostería por cada tipo de mortero, 3 rellenos y 3 vacíos. También se realizaron tres cubos para cada tipo de mortero y tres prismas de concreto de relleno por cada día de construcción, con el fin de evaluar las propiedades de las condiciones de campo.

El proceso constructivo se realizó bajo condiciones de laboratorio, es decir, la construcción de cada espécimen se realizó bajo las condiciones ambientales indicadas por cada norma utilizada.



Figura 14. Especímenes experimentales

La construcción de los especímenes se llevó a cabo en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica, con la colaboración de un albañil experimentado en trabajos de mampostería y su asistente y se registró el tiempo que le tomó al albañil construir cada murete.

4.2.1 Muretes

Dos días antes de iniciar el proceso constructivo, los bloques con cejilla central se cortaron a la mitad con una sierra eléctrica; una vez cortados, se apilaron al aire libre para que se secaran. En la Figura 15 se muestra una unidad de mampostería cortada por la mitad.

El primer paso del proceso constructivo, fue limpiar los bloques con un cepillo de nylon, con el fin de eliminar cualquier partícula que interfiriera con la adherencia del mortero y las unidades de mampostería. La Figura 15 muestra una fotografía del cepillo utilizado para la limpieza de los bloques.

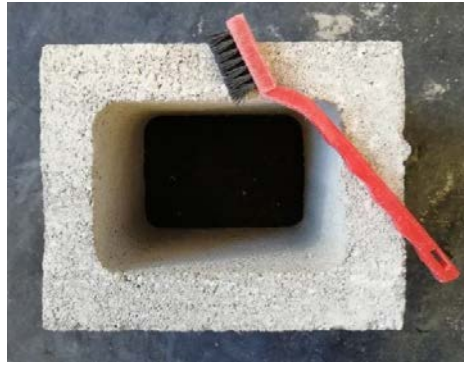


Figura 15. Cepillo utilizado para limpiar los bloques

Posterior a la limpieza de los bloques, se realizó la mezcla de mortero; para ello se tomó 10,0 ó 20,0 kg de mortero y la cantidad correspondiente de agua para cada tipo de mortero según la especificación del fabricante. Se escogió la cantidad de mortero de acuerdo a la trabajabilidad de la primera mezcla realizada por día. El asistente del albañil preparó la mezcla de mortero en un carretillo utilizando una pala.

Una vez limpias las unidades de mampostería y realizada la mezcla de mortero, se empezó la construcción de cada murete. El mortero se colocó en la superficie de las paredes y almas de la unidad de mampostería y verticalmente en toda la cara lateral de las almas externas.

Con el fin de verificar la calidad del mortero utilizado en la construcción, se muestrearon tres cubos de mortero para determinar la resistencia a compresión del mortero bajo las mismas condiciones de los muretes de mampostería, esto con el fin de garantizar la uniformidad del mortero en campo, es decir, luego de desmoldar los cubos, se curaron por 7 días de igual manera que los muretes y se dejaron contiguo a estos, tal como se puede observar en la Figura 16.



Figura 16. Curado de los cubos de mortero para el control de calidad

Una vez contruidos, los muretes se cubrieron con plástico, para obtener un curado adecuado, evitando así un exceso de exposición al viento, al polvo y al sol. Los muretes se cubrieron durante 28 y 29 días, rellenos y sin relleno, respectivamente, debido a que la construcción de los muretes sin concreto de relleno se realizó detrás de los demás muretes. Por lo tanto, se fallaron primero los muretes con concreto de relleno. Además, las juntas de los muretes se curaron con agua potable durante 7 días, el curado se llevó a cabo con un aspersor de agua como el que se muestra en la Figura 17.



Figura 17. Aspersor de agua utilizado para curar las juntas de mortero

4.2.2 Prismas de mampostería

Los prismas de mampostería se construyeron de forma paralela a los muretes. Los prismas N y S se construyeron con la misma mezcla del quinto murete de cada día, específicamente del murete NP-2 y del murete SR-2, respectivamente. Los prismas de mampostería con mortero tipo M se construyeron con las mezclas correspondientes a los muretes MR-1, MR-2 y MR-3, debido a que este tipo de mortero endurece mucho más rápido que los otros. Los prismas se construyeron dentro de una bolsa plástica, la cual se cerró posteriormente al relleno de cada prisma.

4.2.3 Concreto de relleno

El concreto de relleno utilizado para rellenar los muretes y los prismas de mampostería fue concreto de relleno convencional preempacado. Este se colocó el día posterior de la construcción, con ayuda de un vibrador de aguja, tal como se muestra en la Figura 18 y en la Figura 19.



Figura 18. Colocación del concreto de relleno en los muretes



Figura 19. Colocación del concreto de relleno en los prismas

El concreto de relleno se fabricó en una batidora de concreto, en dos etapas, y con la cantidad media del rango de agua establecido en la especificación técnica del fabricante. A cada mezcla de concreto de relleno se le realizó la prueba de revenimiento y la prueba de resistencia a compresión a los 28 días. La Figura 20 y la Figura 21 muestran la prueba de revenimiento y los prismas de concreto de relleno realizados, respectivamente.



Figura 20. Prueba de revenimiento

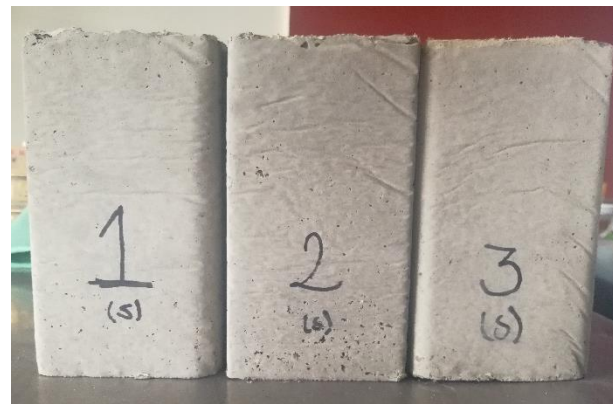


Figura 21. Prismas de concreto de relleno

4.3 Montaje Experimental

La falla de los muretes se llevó a cabo en el Laboratorio de Estructuras del LanammeUCR. Debido a que los muretes parcial y totalmente rellenos se construyeron directamente sobre el suelo, el técnico de laboratorio levantó ligeramente los muretes e introdujo una pieza de madera en cada extremo del murete, con el fin de facilitar la colocación de eslingas, las

cuales se usaron para evitar cualquier daño en el espécimen durante su transporte, tal como se puede apreciar en la Figura 22.



Figura 22. Colocación de piezas de madera y eslingas

Una vez asegurados los muretes, estos se levantaron y trasladaron mediante la grúa viajera hasta la balanza, donde se registró el peso de cada murete, lo cual se observa en la Figura 23 y en la Figura 24, respectivamente.



Figura 23. Transporte de los muretes



Figura 24. Medición del peso propio de los muretes

Luego de pesar los muretes, se colocaron sobre piezas de madera, con ayuda de la grúa estos se colocaron en posición horizontal. Luego se señalaron los puntos de apoyo y los puntos de carga un marcador (ver figuras 25-28).



Figura 25. Colocación de los muretes sobre piezas de madera para llevarlos a la posición horizontal



Figura 26. Inclinación del murete hacia la posición horizontal



Figura 27. Murete en posición horizontal



Figura 28. Señalamiento de los puntos de apoyo y puntos de carga

Una vez señalados los puntos de apoyo y los puntos de carga, los muretes se levantaron con la grúa, y luego se colocaron sobre una grúa móvil, tal y como se aprecia en la Figura 29. Los muretes se colocaron sobre dicha grúa para alinearlos en el marco rígido. Una vez alineados, se ubicaron en los puntos de apoyo. Seguidamente, se colocaron las barras de carga y se retiraron las eslingas.



Figura 29. Colocación del murete sobre la grúa móvil

Cada murete se colocó en el dispositivo de carga, de forma tal que el montaje experimental permite que el tercio medio del murete trabaje en flexión pura, eliminando de esta sección los esfuerzos en cortante, lo cual permite evaluar la resistencia real del murete bajo esfuerzos en flexión.

El tamaño de los apoyos y los puntos de carga se escogió según la norma INTE C74 (ASTM E518). En este caso se escogió, una varilla lisa N° 6. En estos puntos se colocó un hule con un espesor de 6 mm y un ancho de 5 cm, con el fin de corregir cualquier desnivel en el murete y dar estabilidad a los puntos de carga y puntos de apoyo. En la Figura 30 se muestra un esquema del montaje utilizado, mientras que la Figura 31 muestra el montaje experimental de un murete totalmente relleno.

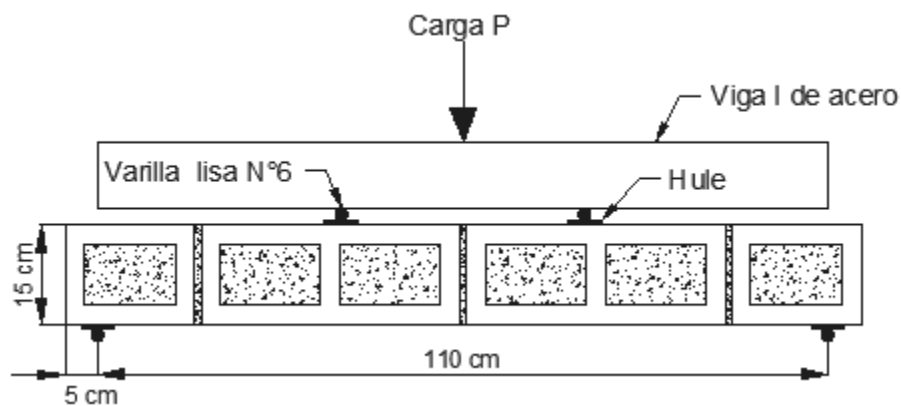


Figura 30. Esquema del montaje experimental utilizado



Figura 31. Colocación del murete en el dispositivo de carga

Finalmente, se ensayó cada murete y se registró la carga máxima resistida y el modo de falla observado. En la Figura 32 se observa el modo de falla observado en todos los muretes. En la Figura 33 se aprecia la sección transversal del plano de falla.



Figura 32. Modo de falla observado en todos los muretes



Figura 33. Sección transversal del plano de falla

Capítulo 5. Resultados Experimentales

En esta sección se presenta el resumen de los resultados experimentales de cada espécimen realizado en el laboratorio, es decir, de los cubos de mortero, prismas de concreto de relleno, prismas de mampostería y muretes de mampostería. En la sección de anexos se muestran los resultados completos para cada espécimen. Para tener una mayor comprensión de los resultados, estos se presentan en función del tipo de elemento.

5.1 Mortero

Tal como se explicó en la sección 4.2.1, se realizó un muestreo del mortero preparado en sitio, esto con el fin de verificar la uniformidad de la resistencia a compresión del mortero bajo las mismas condiciones de los muretes.

La resistencia a compresión a los 28 días, se determinó tomando la carga máxima que resistió el cubo, la cual se dividió entre su área. A continuación, se muestra un ejemplo de dicho cálculo, este corresponde al cubo 1 del mortero tipo N.

$$f_m = \frac{P_{m\acute{a}x}}{\acute{A}rea} = \frac{14,0 \text{ kN}}{250 \times 10^1 \text{ mm}^2} = 5,60 \text{ MPa} = 57,1 \text{ kg/cm}^2$$

En el Cuadro 15 se muestra un resumen de la resistencia a compresión de cada cubo, así como de la resistencia a compresión promedio del mortero tipo N. El Cuadro 16 muestra un resumen de la resistencia a compresión de cada cubo, así como la resistencia a compresión promedio del mortero tipo S. En el Cuadro 17 se muestra un resumen de la resistencia a compresión de cada cubo, así como la resistencia a compresión promedio del mortero tipo M. Finalmente, en el Cuadro 18 se muestra un resumen de la resistencia a compresión promedio de cada uno de los morteros utilizados.

Cuadro 15. Resistencia a compresión del mortero N

Cubo	Resistencia a compresión del mortero a 28 días (kg/cm ²)
1	57,1
2	57,1
3	57,1
Promedio	57,1
Valor mínimo indicado en el CSCR 2010-14	53,0

Cuadro 16. Resistencia a compresión del mortero S

Cubo	Resistencia a compresión del mortero a 28 días (kg/cm²)
1	126
2	138
3	128
Promedio	131
Valor mínimo indicado en el CSCR 2010-14	126

Cuadro 17. Resistencia a compresión del mortero M

Cubo	Resistencia a compresión del mortero a 28 días (kg/cm²)
1	161
2	166
3	160
Promedio	162
Valor mínimo indicado en el CSCR 2010-14	175

Cuadro 18. Resumen de la resistencia a compresión de los morteros

Resistencia a compresión, f_m (kg/cm²)	Tipo de mortero		
	N	S	M
Resultado experimental	57,1	131	162
Valor mínimo establecido por el CSCR 2010-14	53,0	126	175

5.2 Concreto de relleno

Para el concreto de relleno utilizado en los muretes, se realizaron 3 prismas de concreto de relleno, tal y como se mencionó anteriormente en la sección 4.2.3. Para calcular la resistencia a compresión de los prismas de concreto de relleno, se tomó la carga máxima que resistió el prisma y se dividió entre su área, tal como se muestra en el siguiente ejemplo.

$$f_g = \frac{P_{m\acute{a}x}}{\acute{A}rea} = \frac{72,7 \text{ kN}}{886 \times 10^1 \text{ mm}^2} = 8,20 \text{ MPa} = 83,6 \text{ kg/cm}^2$$

En el Cuadro 19, Cuadro 20 y Cuadro 21 se muestra un resumen de la resistencia a compresión del concreto de relleno utilizado en los muretes tipo N, muretes tipo S y muretes tipo M, respectivamente. Finalmente, en el Cuadro 22 se muestra el resumen de estos resultados.

Cuadro 19. Resistencia a compresión de prismas de concreto de relleno, muretes tipo N

Prisma	Resistencia a compresión del concreto de relleno a 28 días (kg/cm²)
1	83,6
2	131
3	208
Promedio	141
Valor mínimo indicado en el CSCR 2010-14	175

Cuadro 20. Resistencia a compresión de prismas de concreto de relleno, muretes tipo S

Prisma	Resistencia a la compresión del concreto de relleno a 28 días (kg/cm²)
1	219
2	220
3	169
Promedio	203
Valor mínimo indicado en el CSCR 2010-14	175

Cuadro 21. Resistencia a compresión de prismas de concreto de relleno, muretes tipo M

Prisma	Resistencia a la compresión del concreto de relleno (kg/cm²)
1	148
2	118
3	128
Promedio	131
Valor mínimo indicado en el CSCR 2010-14	175

Cuadro 22. Resumen de la resistencia a compresión de los prismas de concreto de relleno

Resistencia a compresión f_g (kg/cm²)	Tipo de murete		
	N	S	M
Resultado experimental	141	203	131
Valor mínimo establecido por el CSCR 2010-14	175	175	175

5.3 Prismas de mampostería

Para determinar la resistencia a compresión de la mampostería, se realizaron seis prismas de mampostería, de los cuales tres fueron sin relleno y tres rellenos, esto con el fin de conocer la resistencia a compresión de la mampostería bajo tres condiciones de relleno

diferentes, mampostería sin relleno, mampostería parcialmente rellena y mampostería totalmente rellena.

La resistencia a compresión de la mampostería se determinó dividiendo la carga máxima soportada por el prisma entre su área neta; posteriormente, este resultado se multiplicó por el factor de corrección de la relación entre la altura y el espesor. A manera de ejemplo, se muestra el cálculo para el prisma NV-1.

$$f'_m = \left(\frac{P_{m\acute{a}x}}{\text{Área}} \right) \cdot \text{factor de corrección} = \left(\frac{440 \text{ kN}}{295 \times 10^2 \text{ mm}^2} \right) \cdot 1,05 = 1,6 \text{ MPa} = 159 \text{ kg/cm}^2$$

En el Cuadro 23, Cuadro 24 y Cuadro 25 se muestra un resumen de los resultados de la resistencia a compresión de la mampostería tipo N, tipo S y tipo M, respectivamente. En el Cuadro 26 se muestra un resumen de la resistencia a compresión promedio.

Cuadro 23. Resistencia a compresión de la mampostería tipo N

Prisma	Resistencia a compresión de los prismas a 28 días, f'_m (kg/cm ²)	Resistencia a compresión promedio de los prismas a 28 días, f'_{mt} (kg/cm ²)
NV-1	159	158
NV-2	153	
NV-3	163	
NR-1	131	148
NR-2	144	
NR-3	168	
Promedio con factor de corrección por h_p/t_p		153

Cuadro 24. Resistencia a compresión de la mampostería tipo S

Prisma	Resistencia a compresión de los prismas a 28 días, f'_m (kg/cm ²)	Resistencia a compresión promedio de los prisma a 28 días, f'_{mt} (kg/cm ²)
SV-1	158	142
SV-2	121	
SV-3	147	
SR-1	144	151
SR-2	148	
SR-3	160	
Promedio con factor de corrección por h_p/t_p		146

Cuadro 25. Resistencia a compresión de la mampostería tipo M

Prisma	Resistencia a compresión de los prismas a 28 días, f'_m (kg/cm²)	Resistencia a compresión promedio de los prismas a 28 días, f'_{mt} (kg/cm²)
MV-1	203	197
MV-2	193	
MV-3	196	
MR-1	158	158
MR-2	174	
MR-3	144	
Promedio con factor de corrección por h_p/t_p		178

Cuadro 26. Resistencia promedio a compresión de la mampostería según el tipo de mortero

Condición de relleno	Resistencia a compresión, f'_m (kg/cm²)		
	N	S	M
Mampostería sin relleno	158	153	197
Mampostería parcialmente rellena	153	152	178
Mampostería totalmente rellena	148	151	158

5.4 Muretes

Para determinar el módulo de ruptura de la mampostería se estudiaron tres condiciones de relleno, mampostería sin concreto de relleno, mampostería parcialmente rellena y mampostería completamente rellena. Para ello se realizaron tres muretes sin concreto de relleno, tres muretes parcialmente rellenos y tres muretes totalmente rellenos, es decir, un total de nueve muretes por tipo de mortero.

Para determinar el módulo de ruptura de los muretes se empleó la ecuación de la norma INTE C74 (ASTM E518), ecuación (2).

Tanto la carga máxima soportada por el murete, como el peso total del murete y los elementos sobre este varían de un murete a otro; sin embargo, la luz libre entre apoyos es igual para todos los especímenes, debido a que todos los muretes poseen las mismas dimensiones. La longitud libre entre apoyos está dada por la configuración del montaje experimental, dicha longitud corresponde a 110 cm, tal como se observa en la Figura 34.

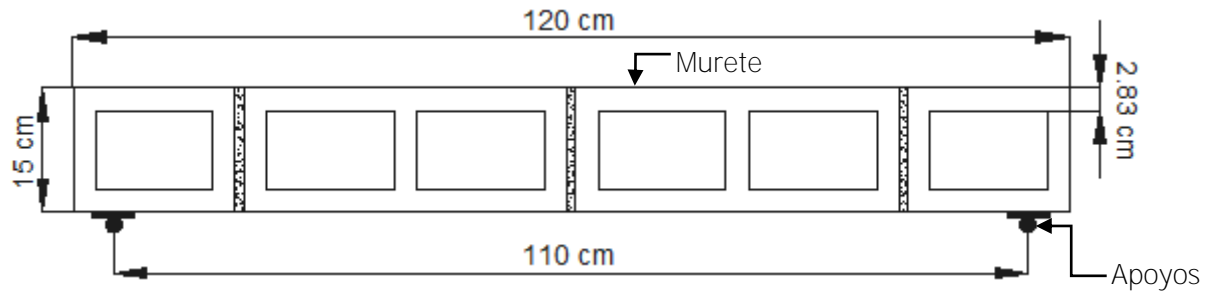


Figura 34. Sección frontal del murete en el montaje experimental

El módulo de sección varía de acuerdo con las propiedades geométricas de cada tipo de murete, es decir, muretes sin relleno, muretes parcialmente rellenos y muretes totalmente rellenos. A continuación, se presenta un resumen de los resultados para cada condición de relleno.

5.4.1 Muretes sin relleno

Para calcular la inercia del murete, se tomó en cuenta las paredes externas, debido a que es la única sección que permanece constante a lo largo del murete. Además, en esta zona es donde se desarrollan los esfuerzos de tracción y compresión. En este caso, se desprecia el aporte de las juntas de mortero, debido a que dicho aporte es mínimo. En la Figura 35 se observan las dimensiones utilizadas para calcular la inercia del murete.

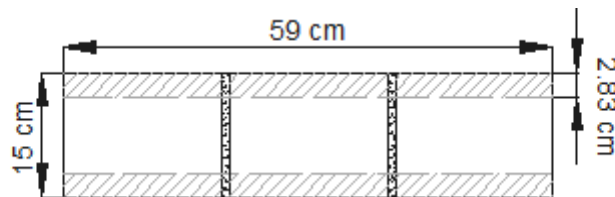


Figura 35. Sección transversal del murete sin relleno

Para determinar la inercia neta del murete, se calcula la inercia bruta del murete y se resta la inercia hueca, tal y como se muestra a continuación:

$$I_{bruta} = \frac{b h^3}{12,0} = \frac{59,0 \text{ cm} \cdot (15,0 \text{ cm})^3}{12,0} = 1,66 \times 10^4 \text{ cm}^4$$

$$I_{hueca} = \frac{b h^3}{12,0} = \frac{59,0 \text{ cm} \cdot (15,0 \text{ cm} - 2 \cdot 2,83)^3}{12} = 3,99 \times 10^3 \text{ cm}^4$$

$$I_{neta} = I_{bruta} - I_{hueca} = 1,66 \times 10^4 \text{ cm}^4 - 3,99 \times 10^3 \text{ cm}^4 = 1,26 \times 10^3 \text{ cm}^4 = 1,26 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

El módulo de sección del murete se calcula a partir de la inercia neta del murete y de la distancia del eje neutro a la fibra extrema en compresión, y , en este caso dicha distancia es 75,0 mm, por lo tanto, el módulo de sección es igual que:

$$S = \frac{I_{neta}}{y} = \frac{1,26 \times 10^8 \text{ mm}^4}{75,0 \text{ mm}} = 1,68 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

Una vez obtenidos todos los datos, se procede a calcular el módulo de ruptura del murete. En este caso se muestra el cálculo del módulo de ruptura del murete NV-1:

$$f_r = \frac{(0,167 \cdot 1,04 \times 10^4 \text{ N} + 0,125 \cdot 14,6 \text{ N}) \cdot 1,10 \times 10^1 \text{ mm}}{1,68 \times 10^6 \text{ mm}^3} = 1,14 \text{ MPa} = 11,6 \text{ kg/cm}^2$$

En el Cuadro 27 y en el Cuadro 28 se muestra un resumen del módulo de ruptura de cada uno de los muretes tipo N y tipo S sin relleno, respectivamente.

Cuadro 27. Módulo de ruptura de los muretes tipo N sin relleno

Murete	Peso total (N)	Módulo de ruptura, f_r (kg/cm ²)
NV-1	14,6	11,6
NV-2	14,5	11,9
NV-3	14,5	11,3
Desviación estándar (kg/cm ²)		0,34
Promedio (kg/cm ²)		11,6
COV (%)		2,90

Cuadro 28. Módulo de ruptura de los muretes tipo S sin relleno

Murete	Peso total (N)	Módulo de ruptura, f_r (kg/cm ²)
SV-1	15,4	13,9
SV-2	15,3	15,0
SV-3	15,2	13,3
Desviación estándar (kg/cm ²)		0,89
Promedio (kg/cm ²)		14,0
COV (%)		6,35

Para el caso de los muretes tipo M se utilizó el segundo lote, debido a la variación de las dimensiones de las caras externas la inercia de los muretes tipo M es diferente a la inercia de los muretes tipo N y tipo S. La inercia neta de los muretes tipo M, se calcula a partir de la Figura 36.

$$I_{bruta} = \frac{b h^3}{12,0} = \frac{59,0 \text{ cm} \cdot (15,0 \text{ cm})^3}{12,0} = 1,66 \times 10^4 \text{ cm}^4$$

$$I_{hueca} = \frac{b h^3}{12,0} = \frac{59,0 \text{ cm} \cdot (15,0 \text{ cm} - 2 \cdot 2,98)^3}{12,0} = 3,62 \times 10^3 \text{ cm}^4$$

$$I_{neta} = I_{bruta} - I_{hueca} = 1,66 \times 10^4 \text{ cm}^4 - 3,62 \times 10^3 \text{ cm}^4 = 1,30 \times 10^3 \text{ cm}^4 = 1,30 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

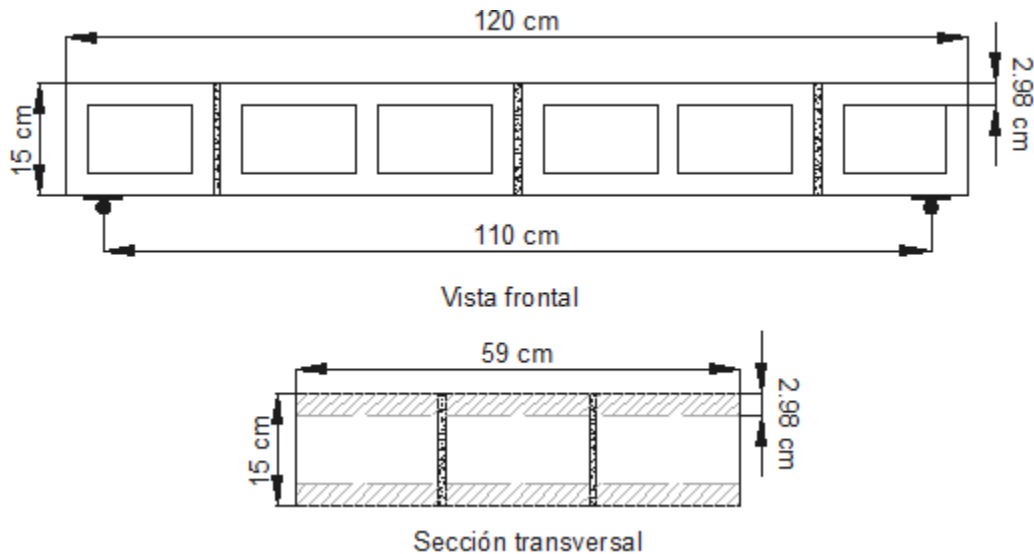


Figura 36. Geometría de los muretes tipo M en condición sin relleno

Al conocer la inercia neta de este tipo de muerte y la ubicación al eje neutro se procede a calcular el módulo de sección.

$$S = \frac{I_{neta}}{y} = \frac{1,30 \times 10^8 \text{ mm}^4}{75,0 \text{ mm}} = 1,73 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

Una vez conocidos estos datos, se procede a calcular el módulo de ruptura del murete, en este caso se muestra el cálculo del módulo de ruptura del murete MV-1:

$$f_r = \frac{(0,167 \cdot 1,12 \times 10^4 \text{ N} + 0,125 \cdot 15,2 \text{ N}) \cdot 1,10 \times 10^1 \text{ mm}}{1,73 \times 10^6 \text{ mm}^3} = 1,19 \text{ MPa} = 12,2 \text{ kg/cm}^2$$

En el Cuadro 29 se muestra un resumen del módulo de ruptura de cada uno de los muretes tipo M sin relleno.

Cuadro 29. Módulo de ruptura de los muretes tipo M sin relleno

Murete	Peso total (N)	Módulo de ruptura, f_r (kg/cm ²)
MV-1	15,2	12,2
MV-2	15,4	11,3
MV-3	15,4	11,2
Desviación estándar (kg/cm ²)		0,56
Promedio (kg/cm ²)		11,6
COV (%)		4,80

5.4.2 Muretes parcialmente rellenos

Para calcular el módulo de ruptura de los muretes bajo la condición parcialmente rellena, se siguió el procedimiento descrito anteriormente para muretes sin relleno. En este caso, los muretes tenían concreto de relleno cada 40,0 cm, tal como se aprecia en la Figura 37, por lo tanto, la inercia del murete varía cada 40,0 cm.

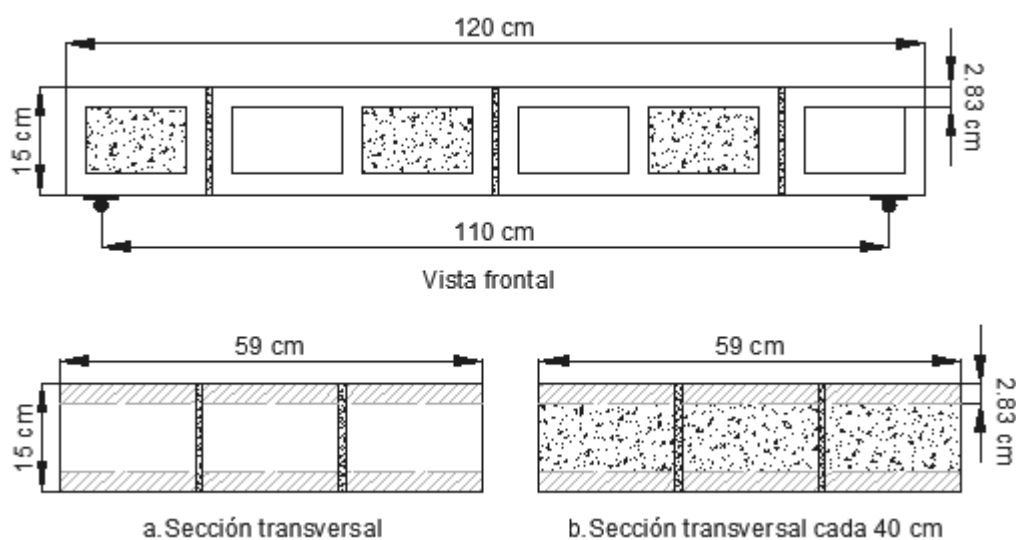


Figura 37. Geometría de los muretes parcialmente rellenos

Con el fin obtener un valor de inercia constante a lo largo del murete, se toma en cuenta únicamente el valor de inercia más conservador, en este caso, la inercia menor, la cual está representada, únicamente, por las paredes externas del murete. La inercia correspondiente a este tipo de murete es:

$$I_{bruta} = \frac{b h^3}{12,0} = \frac{59,0 \text{ cm} \cdot (15,0 \text{ cm})^3}{12,0} = 1,66 \times 10^4 \text{ cm}^4$$

$$I_{hueca} = \frac{b h^3}{12,0} = \frac{59,0 \text{ cm} \cdot (15,0 \text{ cm} - 2 \cdot 2,83)^3}{12,0} = 3,99 \times 10^3 \text{ cm}^4$$

$$I_{neta} = I_{bruta} - I_{hueca} = 1,66 \times 10^4 \text{ cm}^4 - 3,99 \times 10^3 \text{ cm}^4 = 1,26 \times 10^3 \text{ cm}^4 = 1,26 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

Al conocer la inercia neta de este tipo de muerte y la ubicación al eje neutro se procede a calcular el módulo de sección.

$$S = \frac{I_{neta}}{y} = \frac{1,26 \times 10^8 \text{ mm}^4}{75,0 \text{ mm}} = 1,68 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

Conociendo la inercia y el módulo de sección del murete, se procede a calcular el módulo de ruptura para este tipo de murete, en este caso se muestra como ejemplo el murete NP-1.

$$f_r = \frac{(0,167 \cdot 1,29 \times 10^4 \text{ N} + 0,125 \cdot 20,5 \text{ N}) \cdot 1,10 \times 10^1 \text{ mm}}{1,68 \times 10^6 \text{ mm}^3} = 1,41 \text{ MPa} = 14,4 \text{ kg/cm}^2$$

En el Cuadro 30 y en el Cuadro 31 se muestra un resumen del módulo de ruptura de los muretes parcialmente rellenos tipo N y tipo S, respectivamente.

Cuadro 30. Módulo de ruptura de los muretes tipo N parcialmente rellenos

Murete	Peso total (N)	Módulo de ruptura, f_r (kg/cm ²)
NP-1	20,5	14,4
NP-2	20,7	12,9
NP-3	20,6	11,7
Desviación estándar (kg/cm ²)		1,3
Promedio (kg/cm ²)		13,0
COV (%)		10,4

Cuadro 31. Módulo de ruptura de los muretes tipo S parcialmente rellenos

Murete	Peso total (N)	Módulo de ruptura, f_r (kg/cm ²)
SP-1	21,0	11,0
SP-2	21,0	12,5
SP-3	20,9	14,3
Desviación estándar (kg/cm ²)		1,60
Promedio (kg/cm ²)		12,7
COV (%)		12,7

Para calcular el módulo de ruptura de los muretes parcialmente rellenos tipo M, se siguió el procedimiento descrito con anterioridad para muretes parcialmente rellenos tipo N y tipo S. Debido a que se utilizó un lote diferente en este tipo de muretes, la inercia se calcula a partir de la Figura 38. Al igual que los muretes tipo N y S, se obtuvo un valor de inercia constante a lo largo del murete, tomando en cuenta, el valor de inercia más conservador, es decir, la inercia menor, la cual está representada por las paredes externas del murete.

$$I_{bruta} = \frac{b h^3}{12,0} = \frac{59,0 \text{ cm} \cdot (15,0 \text{ cm})^3}{12,0} = 1,66 \times 10^4 \text{ cm}^4$$

$$I_{hueca} = \frac{b h^3}{12,0} = \frac{59,0 \text{ cm} \cdot (15,0 \text{ cm} - 2 \cdot 2,98)^3}{12} = 3,62 \times 10^3 \text{ cm}^4$$

$$I_{neta} = I_{bruta} - I_{hueca} = 1,66 \times 10^4 \text{ cm}^4 - 3,62 \times 10^3 \text{ cm}^4 = 1,30 \times 10^3 \text{ cm}^4 = 1,30 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

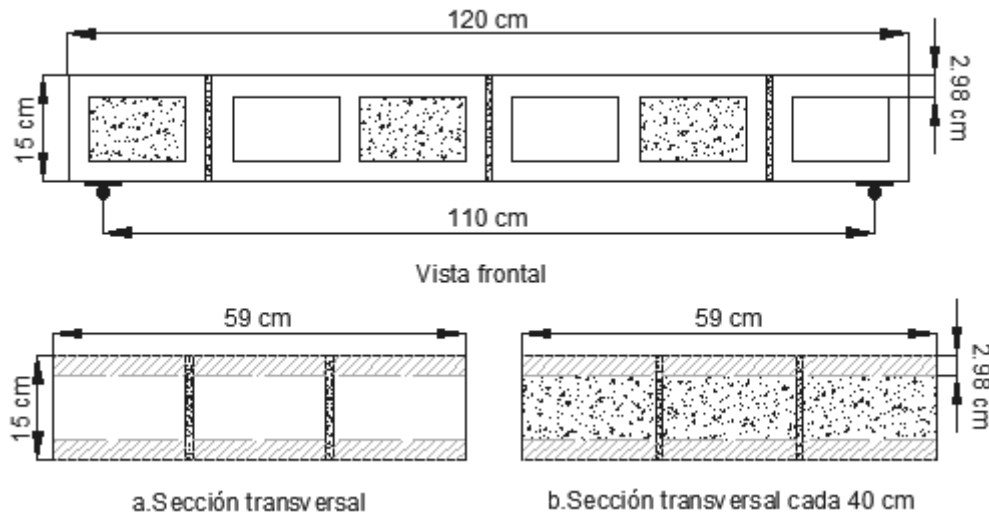


Figura 38. Geometría de los muretes tipo M en condición parcialmente rellena

Por lo tanto, el módulo de sección es igual que el módulo de sección de los muretes tipo M sin relleno:

$$S = \frac{I_{neta}}{y} = \frac{1,30 \times 10^8 \text{ mm}^4}{75,0 \text{ mm}} = 1,73 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

Conociendo la inercia y el módulo de sección del murete, se procede a calcular el módulo de ruptura para el murete MP-1.

$$f_r = \frac{(0,167 \cdot 1,08 \times 10^4 \text{ N} + 0,125 \cdot 20,3 \text{ N}) \cdot 1,10 \times 10^1 \text{ mm}}{1,73 \times 10^6 \text{ mm}^3} = 1,14 \text{ MPa} = 11,7 \text{ kg/cm}^2$$

El Cuadro 32 muestra un resumen del módulo de ruptura de cada uno de los muretes parcialmente rellenos.

Cuadro 32. Módulo de ruptura de los muretes tipo M parcialmente rellenos

Murete	Peso total (N)	Módulo de ruptura, f_r (kg/cm ²)
MP-1	20,3	11,7
MP-2	20,4	12,8
MP-3	20,5	11,8
Desviación estándar (kg/cm ²)		0,62
Promedio (kg/cm ²)		12,1
COV (%)		5,10

5.4.3 Muretes totalmente rellenos

Este tipo de murete se encuentra totalmente relleno, por lo que la inercia neta del murete es igual que la inercia bruta del murete, es decir, en este caso tanto las paredes externas del murete como el concreto de relleno aportan resistencia, lo cual se aprecia mejor en la Figura 39.

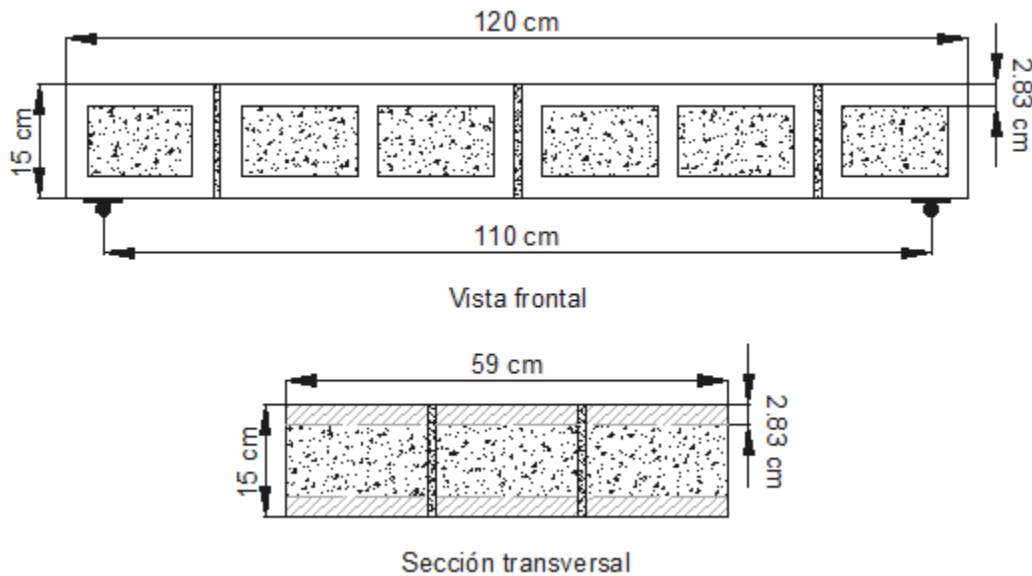


Figura 39. Geometría de los muretes totalmente rellenos

La inercia y el módulo de sección del murete en condición rellena, respectivamente, son:

$$I_{neta} = I_{bruta} = \frac{b h^3}{12,0} = \frac{59,0 \text{ cm} \cdot (15,0 \text{ cm})^3}{12,0} = 1,66 \times 10^4 \text{ cm}^4 = 1,66 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$S = \frac{I_{neta}}{y} = \frac{1,66 \times 10^8}{75,0 \text{ mm}} = 2,21 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

Con estos valores se procede a calcular el módulo de ruptura de los muretes totalmente rellenos, a manera de ejemplo se muestra el cálculo del módulo de ruptura para el murete NR-1.

$$f_r = \frac{(0,167 \cdot 1,82 \times 10^4 \text{ N} + 0,125 \cdot 26,1 \text{ N}) \cdot 1,10 \times 10^1 \text{ mm}}{2,21 \times 10^6 \text{ mm}^3} = 1,51 \text{ MPa} = 15,4 \text{ kg/cm}^2$$

En el Cuadro 33, en el Cuadro 34 y en el Cuadro 35 se muestra un resumen de los módulos de ruptura para los muretes tipo N, tipo S y tipo M totalmente rellenos, respectivamente.

Cuadro 33. Módulo de ruptura de los muretes tipo N totalmente rellenos

Murete	Peso total (N)	Módulo de ruptura, f_r (kg/cm ²)
NR-1	26,1	15,4
NR-2	25,9	15,3
NR-3	26,0	16,4
Desviación estándar (kg/cm ²)		0,58
Promedio (kg/cm ²)		15,7
COV (%)		3,68

Cuadro 34. Módulo de ruptura de los muretes tipo S totalmente rellenos

Murete	Peso total (N)	Módulo de ruptura, f_r (kg/cm ²)
SR-1	26,1	13,3
SR-2	26,0	13,4
SR-3	26,1	12,3
Desviación estándar (kg/cm ²)		0,61
Promedio (kg/cm ²)		13,0
COV (%)		4,70

Cuadro 35. Módulo de ruptura de los muretes tipo M totalmente rellenos

Murete	Peso total (N)	Módulo de ruptura, f_r (kg/cm ²)
MR-1	25,5	13,3
MR-2	25,4	14,2
MR-3	25,5	11,7
Desviación estándar (kg/cm ²)		1,28
Promedio (kg/cm ²)		13,1
COV (%)		9,79

En el Cuadro 36 se muestra el resumen de los resultados promedio del módulo de ruptura, según la condición de relleno y el tipo de mortero utilizado. Por otro lado, el Cuadro 37 muestra el resumen de los resultados promedios experimentales de cada espécimen realizado.

Cuadro 36. Resumen de los resultados promedios del módulo de ruptura

Condición de relleno	Tipo de mortero					
	N		S		M	
	f_r (kg/cm ²)	COV (%)	f_r (kg/cm ²)	COV (%)	f_r (kg/cm ²)	COV (%)
Sin relleno	11,6	2,90	13,8	6,4	11,6	4,80
Parcialmente relleno	13,0	10,4	12,4	12,6	12,1	5,10
Totalmente relleno	15,7	3,7	12,8	4,7	13,1	9,80

Cuadro 37. Resumen de los resultados experimentales

Condición de relleno	f_m (kg/cm ²)			f_g (kg/cm ²)			f'_m (kg/cm ²)			f_r (kg/cm ²)		
	N	S	M	N	S	M	N	S	M	N	S	M
Mampostería sin relleno	57,1	131	162	141	203	131	158	153	197	11,6	13,8	11,6
Mampostería parcialmente rellena	57,1	131	162	141	203	131	153	152	178	13,0	12,4	12,1
Mampostería totalmente rellena	57,1	131	162	141	203	131	148	151	158	15,7	12,8	13,1

5.5 Comparación con códigos de diseño

El código TMS establece en la sección 9.1.9.1 los valores de módulo de ruptura según la dirección de los esfuerzos de tracción, el tipo de mortero y su condición de relleno. Estos valores se muestran específicamente en la tabla 9.1.9.2 del código TMS. En el Cuadro 38 se presentan los valores de módulo de ruptura establecidos por el TMS según la dirección de los esfuerzos de tracción y el tipo de mortero.

Cuadro 38. Valores de módulo de ruptura determinados por el TMS, psi

Dirección de los esfuerzos de tracción por flexión y tipo de mampostería	Tipos de morteros			
	Mortero con cemento Portland/cemento con cal		Mortero con cemento de mampostería / cemento con cal	
	M o S	N	M o S	N
Perpendicular a las juntas horizontales				
Unidades solidas	133	100	80	51
Unidades Huecas ¹				
Sin relleno	84	64	51	31
Totalmente relleno	163	158	153	145
Paralelo a las juntas horizontales				
Unidades solidas	267	200	160	100
Unidades Huecas				
Sin relleno y parcialmente relleno	167	127	100	64
Totalmente relleno	267	200	160	100
Paralelo a las juntas horizontales en mampostería apilada				
Concreto de relleno continuo en la sección paralelo a las juntas horizontales	335	335	335	335
Otros	0	0	0	0

¹ Para mampostería parcialmente rellena, el módulo de ruptura debe ser determinado mediante una interpolación lineal entre los valores de mampostería sin relleno y mampostería totalmente rellena

Adaptada del TMS

El CSCR 2010-14 establece en la sección 9.8.5, que el módulo de ruptura es función de la resistencia a compresión de la mampostería según la condición de relleno.

- Para mampostería parcialmente rellena

$$f_r = 0,67\sqrt{f'_m}, \text{ con un valor máximo de } 9,00 \text{ kg/cm}^2$$

- Para mampostería totalmente rellena

$$f_r = 1,06\sqrt{f'_m}, \text{ con un valor máximo de } 15,0 \text{ kg/cm}^2$$

El Cuadro 39 muestra un resumen comparativo entre los resultados experimentales de todos los muretes, los valores establecidos por el TMS y los valores obtenidos con el CSCR 2010-14. Se muestra un ejemplo de la realización de estos cálculos para los muretes tipo N parcialmente rellenos y totalmente rellenos.

- Para mampostería parcialmente rellena

$$f_r = 0,67\sqrt{153 \text{ kg/cm}^2} = 8,29 \text{ kg/cm}^2$$

- Para mampostería parcialmente rellena

$$f_r = 1,06\sqrt{148 \text{ cm}^2} = 12,9 \text{ cm}^2$$

Cuadro 39. Comparación entre los resultados experimentales y los valores obtenidos al aplicar otros códigos de diseño

Código	Condición de relleno	Módulo de ruptura, f_r (kg/cm ²)		
		Tipo de mortero		
		Mortero N	Mortero S	Mortero M
Resultado Experimental	Sin relleno	11,6	13,8	11,6
	Parcialmente relleno	13,0	12,4	12,1
	Totalmente relleno	15,7	12,8	13,1
TMS	Sin relleno	8,90	11,7	11,7
	Parcialmente relleno	8,90	11,7	11,7
	Totalmente relleno	14,1	18,8	18,8
CSCR 2010-14	Parcialmente relleno	8,29	7,46	8,99
	Totalmente relleno	12,9	10,9	13,3

Capítulo 6. Análisis de resultados

En la sección anterior, se presentó el resumen de los resultados experimentales; en esta sección, se realiza el análisis de dicho resumen.

6.1 Relación del módulo de ruptura con la presencia de concreto de relleno

Al comparar el módulo de ruptura de los resultados experimentales presentados en el Cuadro 39, se puede observar una tendencia distinta para cada tipo de murete, según su condición de relleno (ver Figura 40). Debido a esto, se analizará cada tipo de murete por separado y posteriormente se analizarán los resultados de manera general.

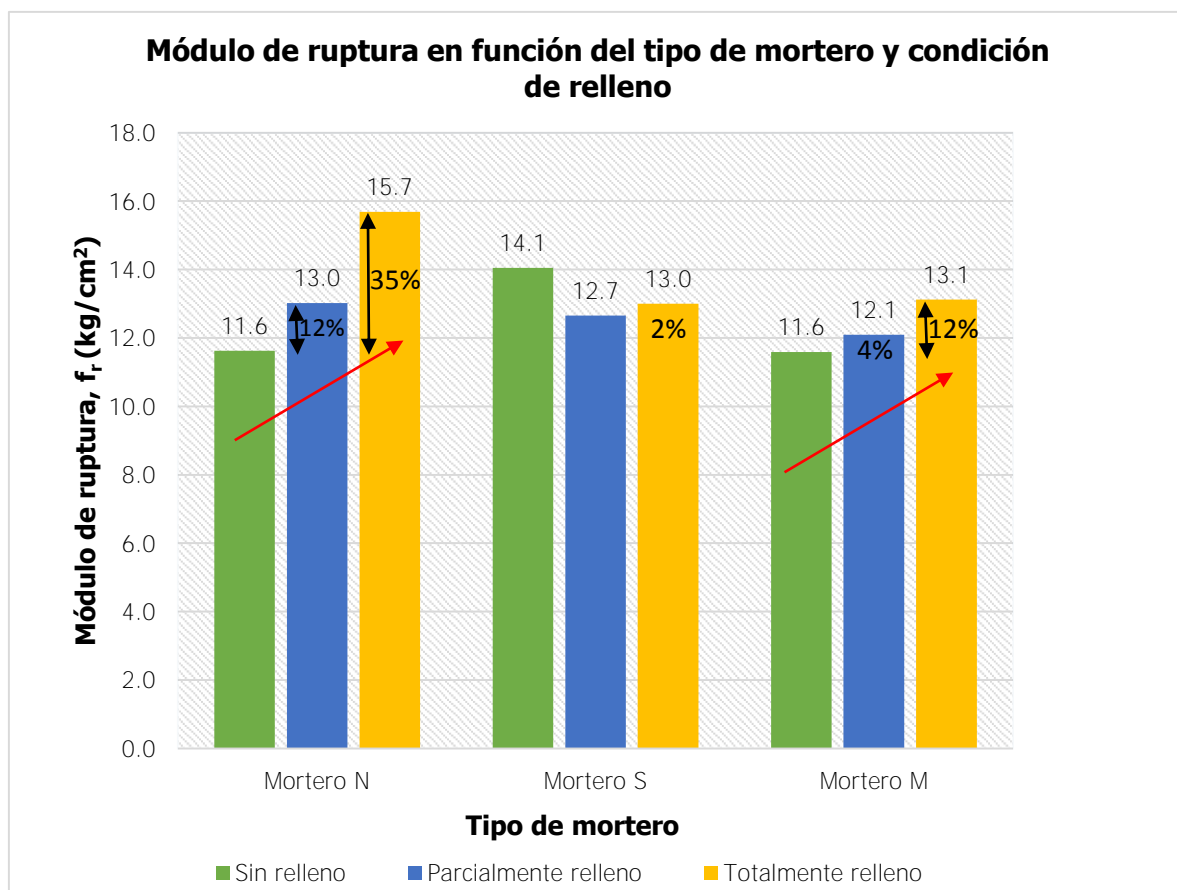


Figura 40. Variación del módulo de ruptura según su condición de relleno

6.1.1 Muretes tipo N

Influencia del concreto de relleno

En el Cuadro 39 se muestra el resumen de los resultados promedios del módulo de ruptura según su condición de relleno, y en la Figura 41 se observa la variación del módulo de ruptura según su condición de relleno.

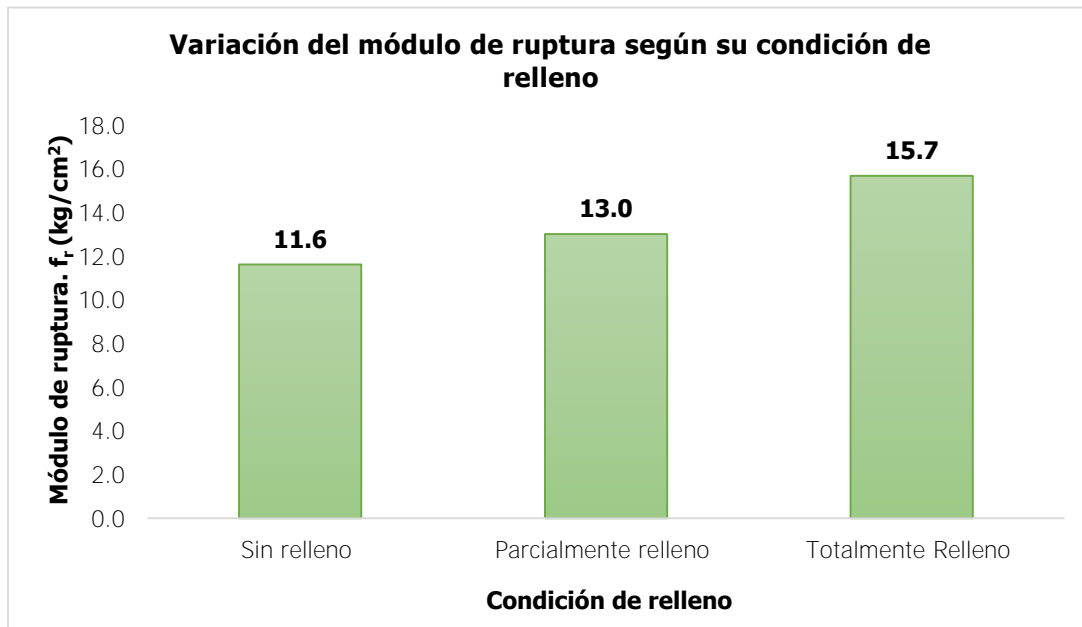


Figura 41. Variación del módulo de ruptura para muretes N según su condición de relleno

En dicha figura, se puede apreciar que a mayor cantidad de concreto de relleno, el valor del módulo de ruptura tiende a ser mayor; dicho comportamiento es similar al observado en las investigaciones consultadas, las cuales se mencionan en la sección 1.2, específicamente las investigaciones realizadas por Drysdale y Hamid presentaron mayores valores de módulo de ruptura en la condición rellena.

De acuerdo con los resultados experimentales, la presencia del concreto de relleno generó un aumento en el módulo de ruptura. Al comparar la condición sin relleno con la condición parcialmente rellena se observa que el incremento en el módulo de ruptura fue de aproximadamente 12%, mientras que al comparar los muretes sin concreto relleno con la condición totalmente rellena se observa un aumento de aproximadamente 35%. Este aumento no es tan alto como el reportado en la investigación desarrollada por Drysdale y Hamid (1984), donde el aumento en el valor del módulo de ruptura fue aproximadamente de 70%, sin embargo, es claro que la presencia del concreto de relleno generó un aumento significativo en el módulo de ruptura.

Como se aprecia en el Cuadro 4 y en el Cuadro 6, las unidades de mampostería utilizadas en este tipo de muretes, poseen una tasa de absorción inicial inferior al límite máximo permitido y una resistencia a compresión mayor a la resistencia mínima requerida para mampostería estructural clase A, tal y como se puede apreciar en dichos cuadros.

En el Cuadro 15 se observa que la resistencia a compresión del mortero tipo N fue de 57,1 kg/cm², la cual es mayor a 53,0 kg/cm², es decir, mayor que la resistencia a compresión mínima del mortero clase C, establecida por el CSCR 2010-14.

Por otro lado, el concreto de relleno utilizado en los muretes tipo N poseía una resistencia a compresión de 141 kg/cm², tal y como se observa en el Cuadro 19. Este resultado se vio afectado porque durante la falla del primer prisma de concreto de relleno, el lector de carga se detuvo y no se registró la carga de falla, por lo tanto, la carga máxima reportada fue la última carga registrada y no la carga de falla. Sin embargo, se infiere que este elemento no repercutió en los resultados del módulo de ruptura, esto debido a que, de acuerdo con la literatura consultada, presentada en la sección 1.2, Drysdale y Hamid (1988) señalan que, la resistencia a compresión del concreto de relleno posee poca influencia en la resistencia de la mampostería ante esfuerzos de tracción paralelos a la junta horizontal.

Relación del módulo de ruptura con la resistencia a compresión de la mampostería

En el Cuadro 23 se muestran los resultados de la resistencia a compresión de la mampostería al utilizar mortero tipo N. Tal y como se mencionó en la sección 2.2, Drysdale y Hamid (1994) señalan que, la resistencia a compresión de la mampostería rellena es menor que la resistencia a compresión de la mampostería sin relleno, lo cual se debe a que los esfuerzos de tracción que se originan en el concreto de relleno empujan las paredes externas del bloque propiciando la falla. Este comportamiento se observa en el Cuadro 23, donde la resistencia a compresión de la mampostería sin relleno es mayor que la resistencia a compresión de la mampostería rellena.

Es común asociar la resistencia a compresión de la mampostería como una medida de calidad y resistencia, sin embargo, al utilizar este concepto e intentar relacionarlo con los resultados del módulo de ruptura para los muretes tipo N, se observa una relación inversamente proporcional, ya que la mampostería sin relleno (con mayor resistencia a compresión) posee el menor módulo de ruptura, mientras que, la mampostería rellena (con

menor resistencia a compresión) presenta el módulo de ruptura más alto (ver esto Figura 42).

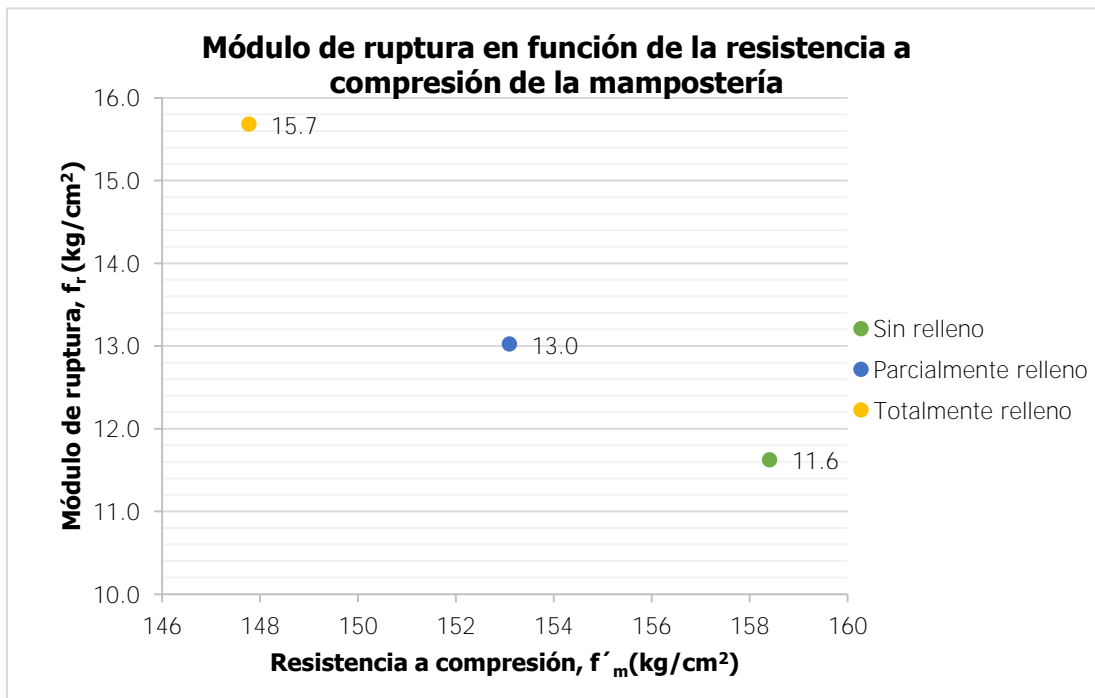


Figura 42. Relación del módulo de ruptura con la resistencia a compresión para los muretes tipo N

6.1.2 Muretes tipo S

Influencia del concreto de relleno

En la Figura 43, se aprecia que los muretes tipo S, tienen un comportamiento contrario al observado en las investigaciones realizadas por Drysdale y Hamid, presentadas en la sección 1.2, ya que los muretes sin concreto de relleno presentan un módulo ruptura mayor que los muretes parcialmente rellenos y los muretes totalmente rellenos. Este comportamiento no ha sido observado en las investigaciones de Drysdale y Hamid, por lo tanto, se atribuye a la baja resistencia de alguno de los materiales empleados o a alguna condición particular durante la construcción de los muretes.

Debido a comportamiento, se revisó que cada uno de los materiales utilizados en la construcción de los muretes cumpliera con los requisitos mínimos de resistencia para muros estructurales, según las especificaciones del CSCR 2010-14.

Las unidades de mampostería utilizadas en estos muretes tenían una resistencia a compresión de 226 kg/cm², la cual es mayor que la especificada por el CSCR 2010-14 para mampostería clase A, 133 kg/cm², (Cuadro 6). Además, estas unidades poseían una

absorción de 154 kg/m^3 , la cual es menor que la absorción máxima permisible según la norma INTE C90, 208 kg/m^3 , (Cuadro 4).

Por otro lado, el mortero tipo S posee una resistencia a compresión de 131 kg/cm^2 , dicha resistencia es mayor a la especificada por el CSCR 2010-14 para mortero clase B (tipo S), 126 kg/cm^2 , tal y como se aprecia en el Cuadro 16.

El concreto de relleno poseía una resistencia a compresión de 203 kg/cm^2 , la cual es mayor a la resistencia a compresión mínima establecida por el CSCR 2010-14 para concreto de relleno clase A, 175 kg/cm^2 (Cuadro 20).

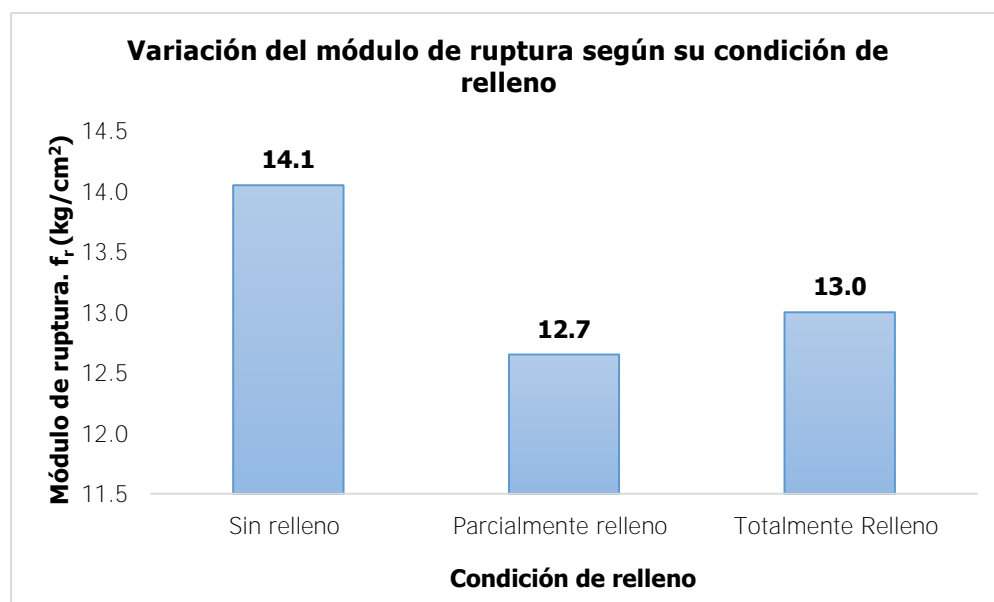


Figura 43. Variación del módulo de ruptura para muretes S según su condición de relleno

Una vez revisadas las resistencias de cada componente, se determinó que no existió poco aporte de resistencia por alguno de los componentes de la mampostería, por lo que este comportamiento particular en los muretes S no se atribuye a los materiales utilizados, sino a alguna situación presentada durante la construcción de los muretes.

Posteriormente, con el fin de determinar si las condiciones ambientales pudieron influir en el comportamiento de los resultados del módulo de ruptura de los muretes tipo S, se revisaron las anotaciones correspondientes al día de la construcción de los muretes tipo S. Se identificó que en los muretes sin concreto de relleno, la mezcla de mortero se preparó de una manera diferente en comparación con los muretes parcialmente rellenos y totalmente rellenos. Debido a que había mucha exposición solar durante la construcción de la mañana, se decidió realizar la mezcla de mortero de los primeros tres muretes en dos

partes de 10,00 kg. Dichos muretes corresponden a los muretes sin concreto de relleno. Esta variación en la realización de la mezcla pudo propiciar una mejor adherencia entre el mortero y la unidad de mampostería.

Al mejorar la adherencia entre la unidad de mampostería y el mortero se fortalece la unión, por lo tanto, la junta vertical es capaz de tomar mayores esfuerzos a tracción. Cuando la junta vertical se agrieta totalmente los esfuerzos son transferidos al bloque, el cual no posee la resistencia suficiente para resistir los esfuerzos a tracción y por lo tanto el muro colapsa. Esto es apoyado por Drysdale & Hamid (1994), quienes establecen que cuando el modo de falla es en línea recta, las unidades de mampostería son relativamente débiles en comparación con la resistencia cortante torsional de las juntas horizontales, evitando así un modo de falla con patrón escalonado.

Por otro lado, al analizar el módulo de ruptura en muretes parcialmente rellenos y totalmente rellenos, se observa que la diferencia entre ellos es muy baja (cerca de $0,33 \text{ kg/cm}^2$). De acuerdo con los resultados obtenidos en las investigaciones de Drysdale y Hamid, no existe evidencia de que se presente este tipo de comportamiento. Debido a que durante la utilización del mortero tipo S se observó que dicho mortero es susceptible a los cambios del clima durante el día, se infiere que la variable ambiental afectó la adherencia entre el mortero y la unidad, debido a que la mezcla de mortero realizada durante la mañana y el medio día empezaba a endurecerse rápidamente, mientras que la mezcla de mortero realizada en la horas de la tarde se endurecía más lento. Esto pudo tener efecto sobre la adherencia y por ende sobre el módulo de ruptura, ya que los muretes totalmente rellenos se construyeron durante el mediodía y los muretes parcialmente rellenos se construyeron durante horas de la tarde, propiciando así una mejor adherencia en estos últimos y con ello un posible aumento en el módulo de ruptura.

Fernández et al. (2009), mencionan que cuando el modo de falla se presenta en línea recta, la resistencia a los esfuerzos de tracción está asociada con la adherencia entre la unidad de mampostería y el mortero. Debido a que el modo de falla de todos los especímenes fue en línea recta, es evidente que la adherencia juega un papel importante en los resultados experimentales obtenidos para este tipo de muretes.

De acuerdo con Schubert (1994), la unión entre el mortero y la unidad de mampostería resiste parte importante de los esfuerzos a tracción, por lo tanto, una mejor adherencia

entre el mortero y la unidad de mampostería propicia una mayor resistencia a tracción, lo cual pudo ocurrir en los muretes sin relleno y en los muretes parcialmente rellenos.

Relación del módulo de ruptura con la resistencia a compresión de la mampostería

Al intentar establecer una relación entre el módulo de ruptura y la resistencia a compresión de la mampostería con mortero tipo S, se observó un comportamiento diferente al observado en los muretes tipo N. En este caso, tal y como se observa en la Figura 44, los muretes sin concreto de relleno presentan una resistencia a compresión muy similar a la resistencia a compresión de la mampostería totalmente relleno, pero con un módulo de ruptura mucho mayor, como se mencionó en el apartado anterior, el módulo de ruptura es mayor en la condición sin relleno, debido a una posible mejor adherencia entre la unidad de mampostería y el mortero.

Además, al analizar la resistencia a compresión de los prismas de mampostería con mortero tipo S (Cuadro 24) se puede observar que los prismas de mampostería sin concreto de relleno tienen una resistencia similar a los prismas rellenos. Considerando los resultados de resistencia a la compresión y módulo de ruptura, no es posible determinar una relación clara entre la resistencia a compresión de la mampostería y el módulo de ruptura para los muretes tipo S.

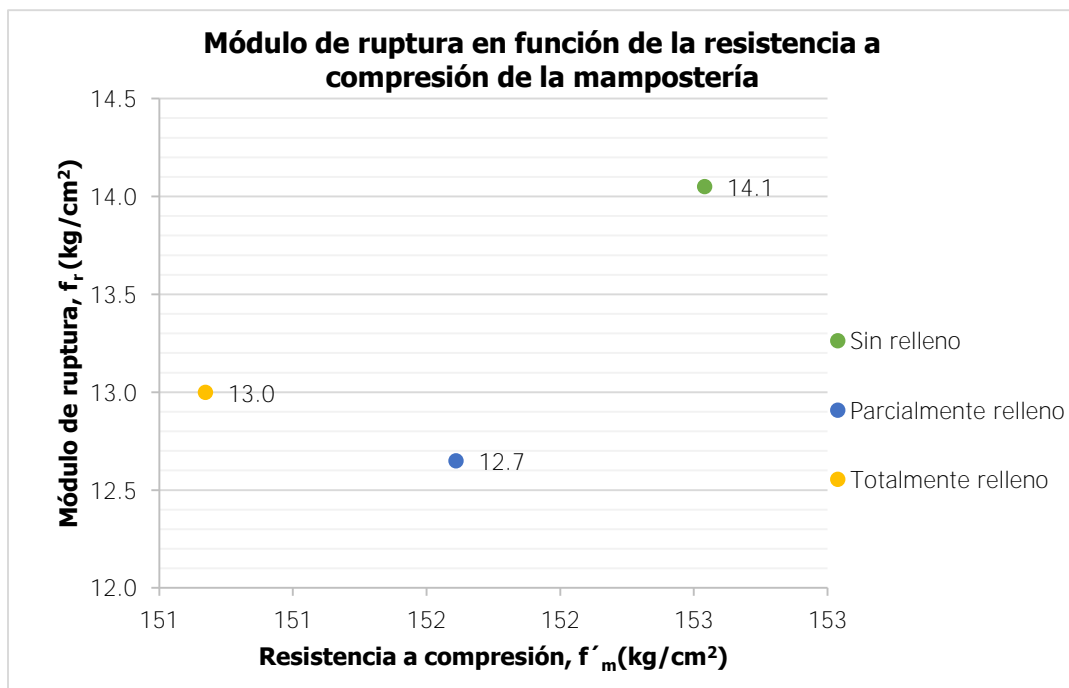


Figura 44. Relación del módulo de ruptura con la resistencia a compresión para los muretes tipo S

6.1.3 Muretes tipo M

Influencia del concreto de relleno

En la Figura 45 se observa el comportamiento del módulo de ruptura de los muretes tipo M. Como se observa, el módulo de ruptura tiende a incrementar con la presencia de concreto de relleno.

En el caso de los muretes parcialmente rellenos, la presencia de concreto de relleno generó un aumento de 4,31%, en comparación con los muretes sin concreto de relleno. Al comparar los muretes sin concreto de relleno con los muretes totalmente rellenos, el aumento presentado fue de 13,2%. El aumento en el módulo de ruptura es poco significativo, sin embargo, el comportamiento es similar al observado en las investigaciones de Drysdale y Hamid, presentadas en la sección 1.2, donde la presencia del concreto de relleno genera un incremento en la resistencia a tracción de la mampostería.

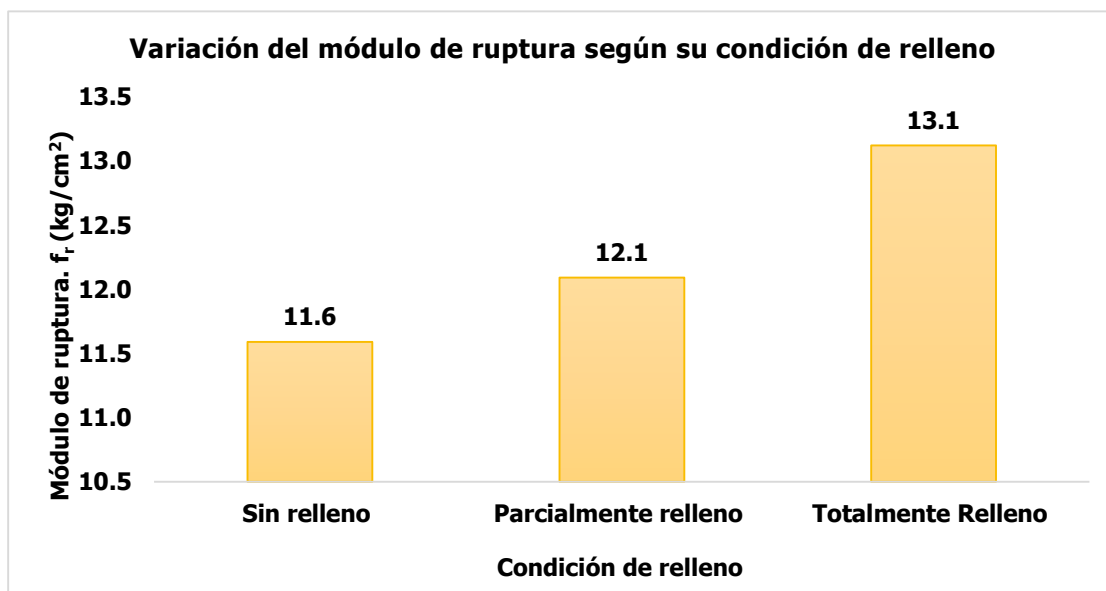


Figura 45. Variación del módulo de ruptura en muretes tipo M según su condición de relleno

Debido a que en este caso el módulo de ruptura presenta poco aumento ante la presencia del concreto de relleno, se debe analizar cada uno de los componentes de la mampostería, con el fin de determinar si existe resistencia relativamente baja de alguno de los materiales que pudiera contribuir con el aumento presentado.

De acuerdo con el CSCR 2010-14, el motero tipo M debe tener una resistencia a compresión mínima de 175 kg/cm^2 , en este caso el mortero utilizado en los muretes y prismas de mampostería tipo M poseía un resistencia a compresión de 162 kg/cm^2 , tal y como se señala

en el Cuadro 17. Dicha resistencia es inferior a la resistencia mínima requerida, sin embargo, al caracterizar el mortero tipo M se determinó que este tipo de mortero cumplía con la resistencia mínima establecida por el CSCR 2010-14 (Cuadro 12). Por lo tanto, la disminución en la resistencia a compresión se atribuye las condiciones de curado, debido a que los cubos de mortero realizados durante la construcción de los muretes no se curaron en cámara húmeda, por lo tanto, el mortero no pudo desarrollar toda su resistencia. Pese a esto, este tipo de mortero es más resistente que el mortero tipo S, por lo tanto, la poca diferencia entre el resultado experimental y el requisito de resistencia pareciera no tener influencia en los resultados del módulo de ruptura.

Las unidades de mampostería utilizadas en este tipo de murete corresponden al segundo lote, las cuales poseían una absorción de 135 kg/m^3 y una resistencia a compresión de 227 kg/cm^2 , (Cuadro 5 y el Cuadro 7). Ambas magnitudes se encuentran dentro de los requisitos mínimos para unidades de mampostería estructural.

Por otro lado, el concreto de relleno utilizado en estos muretes tenía una resistencia a compresión de 131 kg/cm^2 . Sin embargo, de acuerdo con Drysdale y Hamid (1988), no se espera que la resistencia del concreto de relleno tenga un impacto significativo en el módulo de ruptura de la mampostería, esto debido a que se considera que el concreto de relleno es lo suficientemente resistente para obligar a la grieta a atravesar las unidades de mampostería (sección 1.2).

El poco aumento en el módulo de ruptura en las diferentes condiciones de relleno es atribuido a la baja trabajabilidad de este tipo de mortero; el cual se endurecía más rápido que los otros morteros utilizados en el proceso experimental, y al endurecerse más rápido, la adherencia entre el mortero y la unidad de mampostería se reduce, lo que genera una reducción en la resistencia a tracción de la unión del mortero y la unidad de mampostería, lo cual concuerda con Fernández et al. (2009).

Relación del módulo de ruptura con la resistencia a compresión de la mampostería

De manera similar a los muretes N, en la Figura 46, se observan los valores del módulo de ruptura, según la condición de relleno. Dichos valores tienden a ser contrarios al aumento de la resistencia a compresión de los prismas de mampostería, es decir, los muretes con mayor módulo de ruptura (muretes rellenos), poseen la menor resistencia a compresión, mientras que, los muretes sin relleno presentan el menor módulo de ruptura, pero la mayor

resistencia a compresión. Finalmente, los muretes parcialmente rellenos poseen resistencia a compresión promedio y un módulo de ruptura medio.

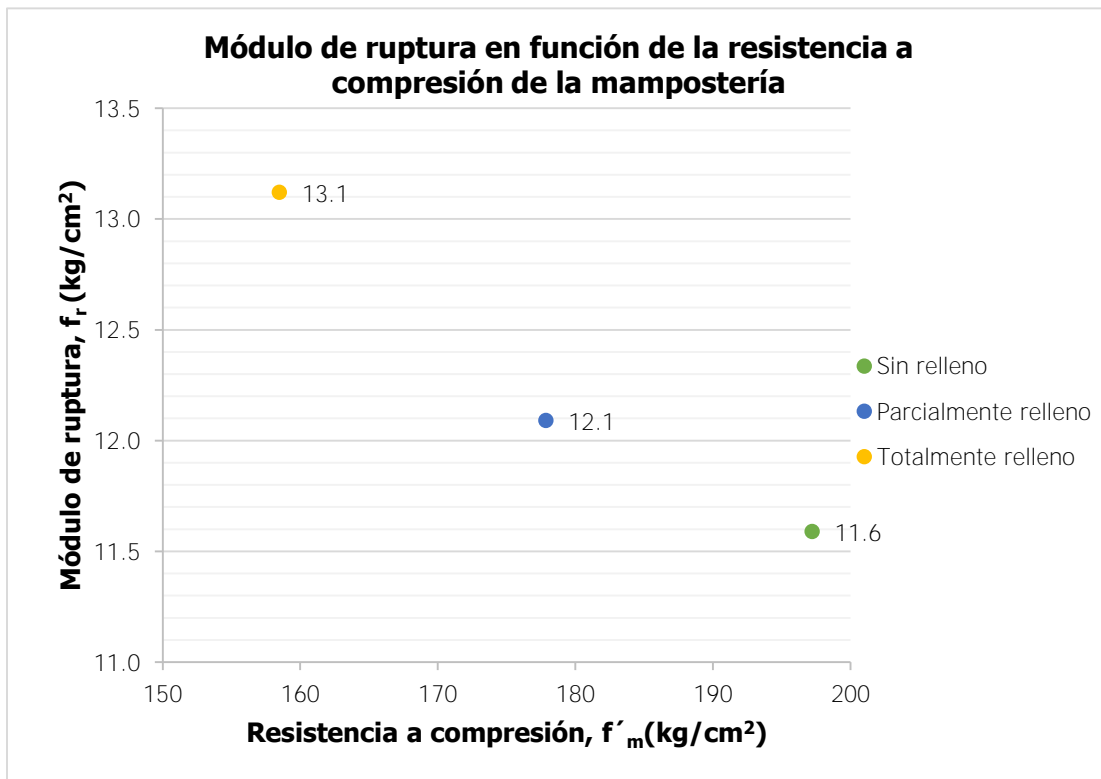


Figura 46. Relación del módulo de ruptura con la resistencia a compresión, muretes tipo M

Es importante mencionar que en cada tipo de murete se utilizó un mismo concreto de relleno, tanto para los especímenes parcialmente rellenos como para los especímenes totalmente rellenos, por lo tanto, con base en los resultados no es posible determinar si la resistencia a compresión del concreto de relleno posee influencia en el módulo de ruptura, sin embargo, Drysdale y Hamid (1994) indican que la resistencia del concreto de relleno no posee gran influencia en el módulo de ruptura.

6.2 Relación del módulo de ruptura con el tipo de mortero

En el Cuadro 39 se muestran los resultados promedios del módulo de ruptura y en la Figura 47 se muestra la relación de los resultados del módulo de ruptura según el tipo de mortero y la condición de relleno.

Con base en los resultados experimentales, se puede apreciar que en el caso de los muretes sin relleno, los muretes tipo S poseen el mayor módulo de ruptura, sin embargo, como se mencionó en la sección 6.1.2, el resultado de los muretes tipo S sin relleno se vio

incrementado por una posible mejora en la adherencia entre la unidad de mampostería y el mortero. No obstante, también se observa que los muretes tipo N tienen igual módulo de ruptura que el los muretes tipo M.

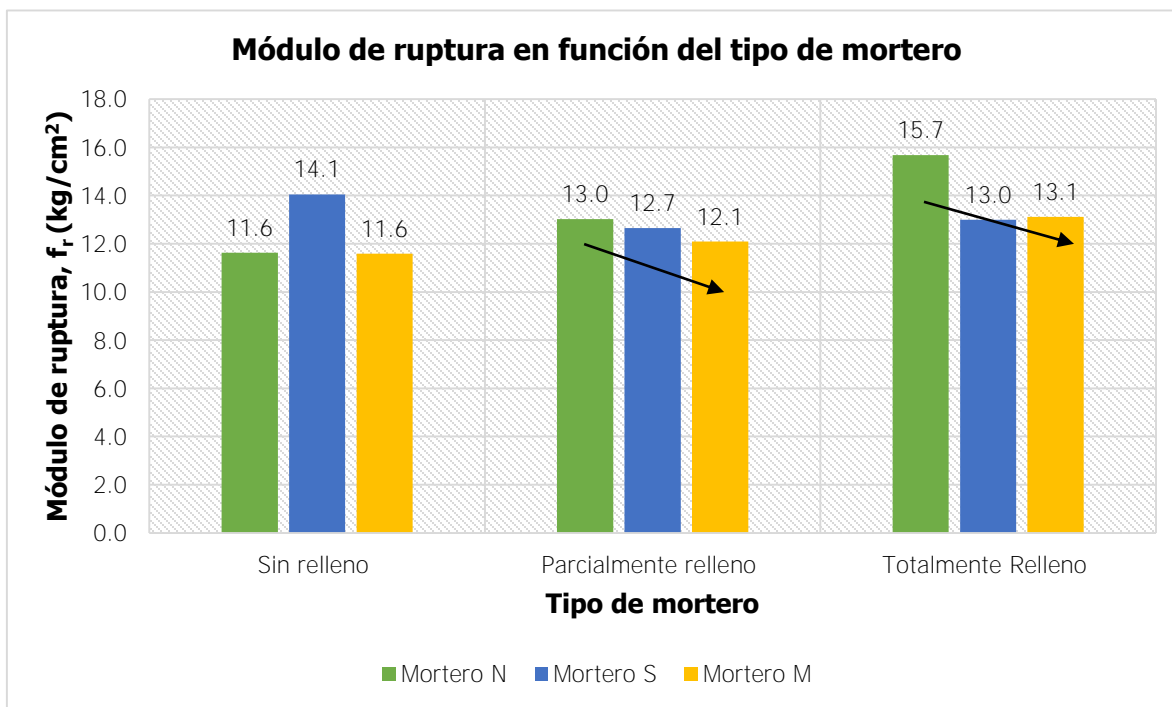


Figura 47. Relación del módulo de ruptura con el tipo de mortero

En el caso de los muretes parcialmente rellenos, el módulo de ruptura tiende a disminuir conforme la resistencia a compresión del mortero aumenta. Dicho comportamiento es totalmente contrario al observado en la investigación desarrollada por Brown y Melander (2003), donde se observó que la resistencia ante esfuerzos de tracción es mayor cuando se utiliza un mortero de mayor resistencia, por lo que, se esperaría que el módulo de ruptura aumentara con la resistencia a compresión del mortero, principalmente al cambiar de un mortero tipo N a un mortero tipo S o a un mortero tipo M. Al comparar el mortero tipo S y M se puede observar que el cambio en el módulo de ruptura es de aproximadamente 4,72%, por lo que debido a la poca variación de los resultados, se podría unificar el valor del módulo de ruptura al utilizar mortero tipo S o tipo M.

Para los muretes totalmente rellenos, se observa un comportamiento diferente en comparación con las dos condiciones anteriores. En este caso, los muretes tipo N poseen el mayor módulo de ruptura y se esperaría que el módulo de ruptura disminuyera conforme aumenta la resistencia a compresión del mortero, tal y como sucedió con los muretes

parcialmente rellenos, sin embargo, esto no sucede ya que, si bien los muretes tipo N poseen el mayor módulo de ruptura, los muretes tipo M tienen un valor de módulo de ruptura ligeramente mayor que el valor de módulo de ruptura de los muretes tipo S. El aumento presentado es de aproximadamente 0,77%, por lo tanto, se podría establecer que los valores del módulo de ruptura al utilizar mortero tipo S y tipo M en mampostería totalmente rellena es prácticamente igual.

La Figura 48 se muestra la relación entre el módulo de ruptura y la resistencia a compresión del mortero. En el caso de la mampostería sin relleno se puede apreciar que al cambiar de un mortero tipo N a un mortero tipo M (excluyendo el mortero tipo S debido al incremento en el módulo de ruptura producto de una posible mejor adherencia), no se produce un cambio en el módulo de ruptura, esto queda evidenciado por el coeficiente de determinación, el cual es igual a 1,00. Este valor indica una correlación positiva entre el módulo de ruptura y la resistencia a compresión del mortero, en este caso, el módulo de ruptura es igual sin importar la resistencia a compresión del mortero.

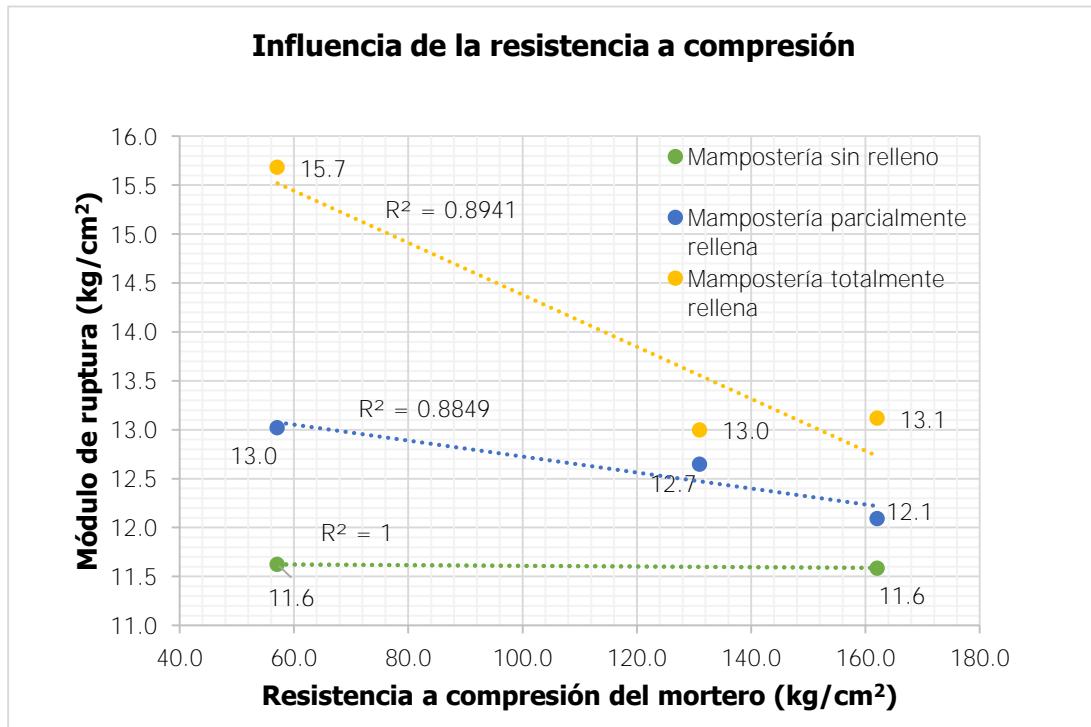


Figura 48. Relación del módulo de ruptura con la resistencia a compresión del mortero

En el caso de la mampostería parcialmente rellena, se tiene un coeficiente de determinación igual a 0,88 lo que indica que existe una correlación entre los valores del módulo de ruptura

y la resistencia a compresión del mortero, en este caso, es claro que el módulo de ruptura disminuye con el aumento de la resistencia a compresión del mortero.

Para la mampostería totalmente rellena, el coeficiente de determinación es igual a 0,88 lo que señala que existe una correlación entre la resistencia compresión del mortero y el módulo de ruptura. Para mampostería totalmente rellena, el aumento de la resistencia a compresión del mortero produce una disminución en el módulo de ruptura.

Con base en estos resultados, se puede determinar que, si bien la resistencia del mortero es importante, la trabajabilidad juega un papel aún más importante, ya que, para un porcentaje de absorción constante, a mayor trabajabilidad mayor adherencia entre el mortero y la unidad de mampostería, por lo tanto, la resistencia ante esfuerzos de tracción paralelos a la junta horizontal será mayor, tal y como sucedió al utilizar el mortero tipo N.

Fernández et al. (2009) mencionan que la eficiencia y calidad de la mano de obra poseen un impacto en la resistencia a tracción de la mampostería. En el este caso, la mezcla de mortero fue preparada en un carretillo por el asistente del albañil, lo que pudo afectar negativamente la trabajabilidad de la mezcla de mortero, propiciando así una reducción en el módulo de ruptura.

6.3 Relación del módulo de ruptura con la resistencia a compresión de la mampostería

Tal y como se mencionó en la sección 6.1, por lo general, la resistencia a compresión de la mampostería es un parámetro que indica la calidad y durabilidad de la mampostería, por lo tanto, es común pensar que, la mampostería con alta resistencia a compresión, posee mayores valores de módulo de ruptura en comparación con una mampostería de baja resistencia a compresión. Sin embargo, en la sección 6.1 se observó que para cada tipo de murete los resultados encontrados no poseen este comportamiento, por lo tanto, es necesario analizar los resultados en función de la resistencia a compresión de la mampostería según el tipo de mortero, tal y como sugiere el CSCR 2010-14 en la sección 9.8.5, donde el módulo de ruptura depende directamente de la resistencia a compresión de la mampostería según su condición de relleno (sección 5.5).

En la Figura 49 se muestra un gráfico de los resultados de módulo de ruptura, según la condición de relleno, en función de la resistencia a compresión de la mampostería, y el tipo mortero.

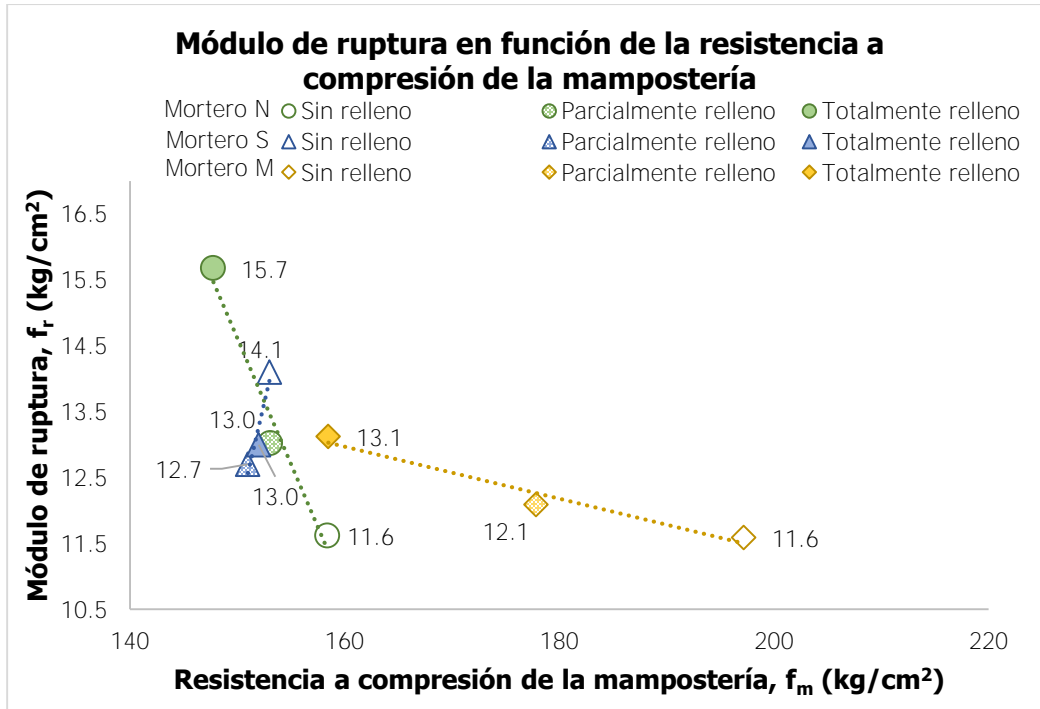


Figura 49. Relación del módulo de ruptura con la resistencia a compresión de la mampostería

En la Figura 49 se observa que los resultados del módulo de ruptura para los muretes tipo S se encuentran al lado izquierdo de los resultados de módulo de ruptura para los muretes tipo N. Esto se debe a que la resistencia a compresión de los prismas tipo S no posee resultados significativamente superiores a los prismas tipo N. Por lo tanto, no es posible establecer una tendencia clara para los muretes tipo S, principalmente para los muretes sin relleno y parcialmente rellenos. Al analizar los resultados para los muretes tipo S totalmente rellenos se observa que, aunque la resistencia a compresión es ligeramente superior (2,90 kg/cm²), en comparación con los muretes tipo N, el módulo de ruptura es mucho menor (17,2%).

Por otro lado, en la Figura 49 se observa que, tanto para los muretes tipo N, como para los muretes tipo M el módulo de ruptura tiende a disminuir conforme aumenta la resistencia a compresión de la mampostería, tal y como se explicó en la sección 6.1.1 y 6.1.3, respectivamente.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la resistencia a compresión de la mampostería con mortero tipo M, es mayor que la resistencia a compresión de la mampostería con mortero tipo N. Esto se observa claramente en la Figura 49, debido a que los resultados

correspondientes a los muretes tipo M se encuentran a la derecha de los resultados de los muretes tipo N, lo cual concuerda con lo descrito por Drysdale y Hamid (1994).

A pesar de que, los muretes tipo M sin relleno, poseen la mayor resistencia a compresión, los muretes tipo M sin relleno poseen el menor valor de módulo de ruptura, ($11,6 \text{ kg/cm}^2$), mientras que los muretes tipo N rellenos, poseen un valor mucho menor de resistencia a compresión, pero poseen el mayor módulo de ruptura ($15,7 \text{ kg/cm}^2$).

De acuerdo con estos resultados, se puede establecer que el módulo de ruptura no posee una relación directamente proporcional con la resistencia a compresión de la mampostería.

6.4 Comparación con códigos de diseño

En el Cuadro 39 se muestra el resumen de los módulos de ruptura promedio para cada tipo de mortero según la condición de relleno, además, se comparan dichos resultados el código TMS y el CSCR 2010-14.

6.4.1 Código TMS

De acuerdo con el código TMS, el módulo de ruptura varía en función del tipo de mortero y la condición de relleno, dichos valores se presentan en el Cuadro 39 y se muestran gráficamente en la Figura 50.

Como se observa en la Figura 50, los resultados experimentales para muretes tipo N, son mayores que los valores establecidos por el TMS para cada condición de relleno.

Como se puede observar, el TMS establece que, para la condición sin relleno y para la condición parcialmente rellena, el valor del módulo de ruptura es igual, sin embargo, en los resultados experimentales, se puede observar que el módulo de ruptura presentó un aumento en la condición parcialmente rellena, lo cual se debe a la presencia del concreto de relleno en murete. Es probable que el TMS indique que los valores en ambas condiciones son iguales, debido a la variabilidad que puede presentar el espaciado del concreto de relleno, es decir, si la distancia entre el concreto de relleno es de 80 cm su aporte es mucho menos significativo que un concreto de relleno que se encuentra espaciado cada 40 cm, por lo tanto, es más conservador indicar el mismo valor para la condición sin relleno y parcialmente relleno.

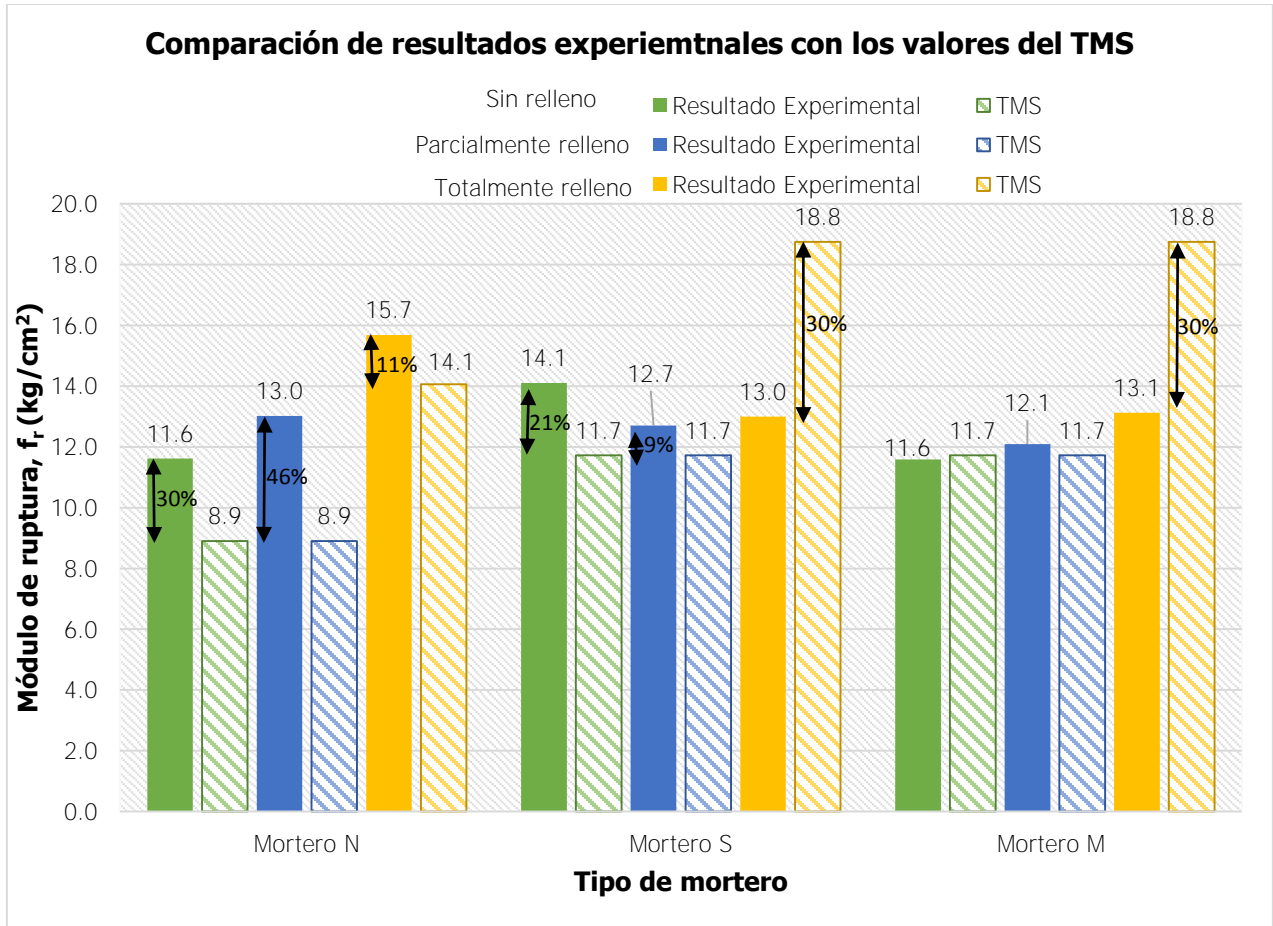


Figura 50. Comparación de los resultados experimentales con los valores establecidos por el TMS

Al analizar los muretes tipo S, se puede observar que los muretes sin concreto de relleno poseen mayor módulo de ruptura que los muretes parcial y totalmente rellenos, lo cual se debe a que hubo una mejor adherencia, tal y como se explicó en la sección 6.1.2.

Tanto los resultados del módulo de ruptura de los muretes sin concreto de relleno, como los resultados del módulo de ruptura de los muretes parcialmente rellenos, son mayores que los valores de módulo de ruptura establecidos por el TMS. Sin embargo, para los muretes rellenos el resultado experimental es significativamente menor.

Los valores de módulo de ruptura superiores a los valores establecidos por el TMS son mayores debido a que son resultados experimentales propios de laboratorio, donde se aplican prácticas constructivas correctas y cada variable es controlada, mientras que, los valores establecidos por TMS son valores a los cuales ya se les aplicó un factor de seguridad, el cual tiene como fin tomar en cuenta las incertidumbres asociadas a la construcción de elementos en sitio.

Al analizar los resultados del módulo de ruptura de los muretes tipo M, se puede observar que los muretes sin concreto de relleno y los muretes parcialmente rellenos, son muy similares a los valores establecidos en el TMS. Los resultados experimentales de los muretes sin relleno son ligeramente menores, mientras que, los resultados de los muretes parcialmente rellenos son ligeramente mayores que el valor establecido por el TMS. De manera similar a los muretes tipo S, los resultados del módulo de ruptura de los muretes tipo M totalmente rellenos, son significativamente menores que los establecidos en el TMS.

Por otro lado, al comparar los resultados de los muretes tipo S y tipo M, exceptuando los muretes tipo S sin concreto de relleno, se puede observar que los resultados son similares entre sí, lo cual concuerda con los establecido en el TMS, donde los valores de módulo de ruptura son iguales cuando se utiliza mortero tipo S o mortero tipo M.

Tanto en los muretes rellenos tipo S como en los muretes rellenos tipo M, se puede observar que los resultados del módulo de ruptura son significativamente menores que los establecidos por el TMS, lo cual se puede deber a dos motivos principales. El primero de ellos, es que estos tipos de mortero son muy susceptibles a los cambios del ambiente, con lo cual empiezan a endurecerse rápidamente, esto disminuye la adherencia del mortero, por lo tanto, la resistencia a tracción de la junta de mortero. El segundo posible motivo se debe al tamaño de los muretes. De acuerdo con Drysdale y Hamid (1994), los especímenes a ensayar deben tener un número par de hiladas, para que exista una misma cantidad de unidades de mampostería y juntas verticales en la sección transversal del murete donde se desarrolla el plano de falla. De esta manera, inicialmente las juntas verticales toman los esfuerzos y cuando estas se agrietan los esfuerzos deben ser resistidos por las unidades de mampostería. Si el número de hiladas no es número par, los esfuerzos de tracción se duplicarán en las unidades de mampostería, ocasionado así la falla del espécimen. Debido a que los especímenes ensayados tenían tres hiladas (Figura 13), se pudo dar el comportamiento descrito por Drysdale y Hamid. Cuando las juntas verticales de mortero fallaron, los esfuerzos a tracción se duplicaron en la unidad de mampostería y si esta no tenía la capacidad suficiente para resistir los esfuerzos a tracción, se originó la falla repentina del murete, lo que origina valores de módulo de ruptura menores a los esperados.

6.4.2 CSCR 2010 - 14

En la sección 5.5 se explicó que de acuerdo con el CSCR 2010-14, el módulo de ruptura es función de la resistencia a compresión de la mampostería, por lo tanto, se calcularon los valores del módulo de ruptura con ecuaciones 9.50 y 9.51 del CSCR 2010-14 para mampostería total y parcialmente rellena, respectivamente. El resumen de estos cálculos se muestra en el Cuadro 39 y en la Figura 51 se muestran dichos resultados.

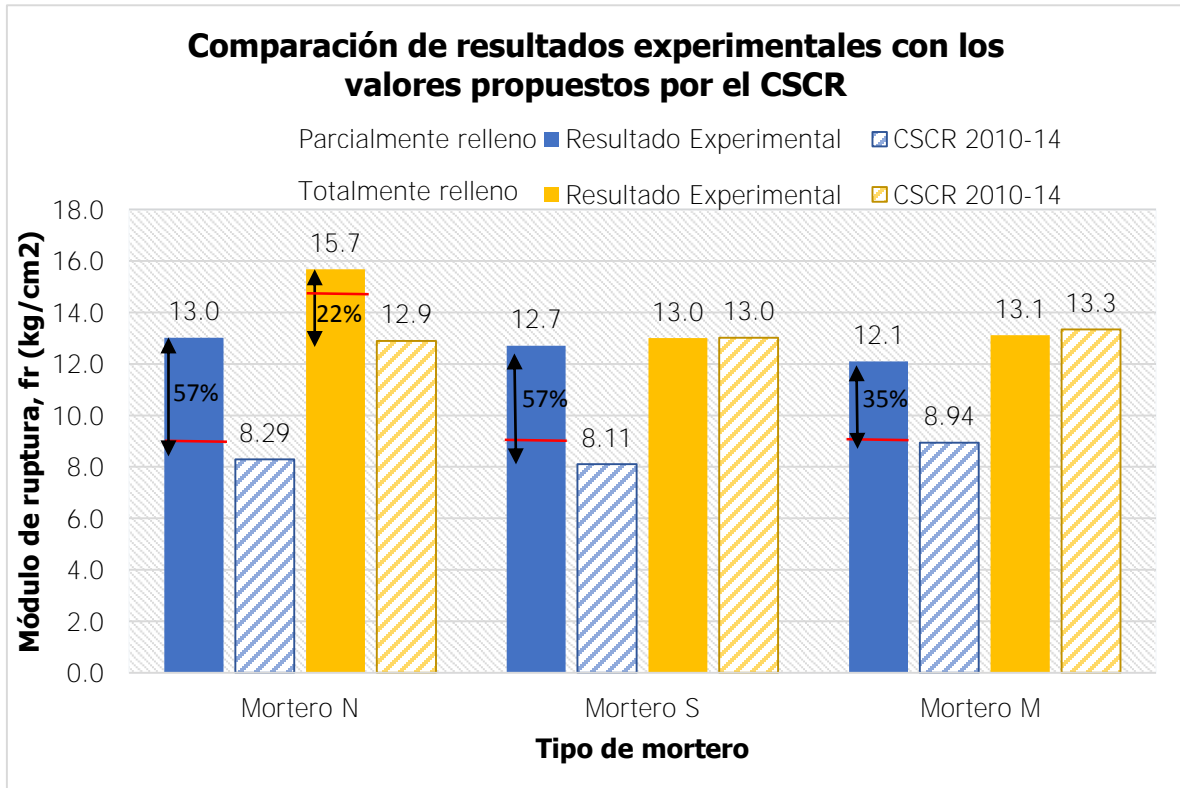


Figura 51. Comparación de los resultados experimentales de módulo de ruptura con los valores encontrados al aplicar las ecuaciones del CSCR

Como se puede observar en la Figura 51, prácticamente todos los resultados experimentales del módulo de ruptura son mayores que los valores calculados a partir de la resistencia a compresión de la mampostería, tal y como lo establece el CSCR 2010-14.

En el caso de los muretes tipo N, se puede observar que el resultado experimental del módulo de ruptura de la mampostería parcialmente rellena es aproximadamente 57% más alto que el valor calculado a partir de la resistencia a compresión de la mampostería, e incluso es mayor que el valor máximo establecido por el CSCR 2010-14, en este caso 9,00 kg/cm². En el caso de la mampostería totalmente rellena, el resultado del módulo de ruptura experimental es aproximadamente 22% más alto que el módulo de ruptura calculado a

partir de la ecuación 9.50 del CSCR 2010-14 y supera el valor máximo establecido por dicho código de 15,0 kg/cm².

De manera similar, en los muretes tipo S, se puede observar que el resultado experimental del módulo de ruptura promedio para la mampostería rellena supera en aproximadamente un 57,0 % el valor calculado con la ecuación del CSCR 2010-14 y de igual manera, dicho valor supera el valor máximo establecido en este código. En el caso de los muretes totalmente rellenos el resultado experimental del módulo de ruptura es igual que el valor calculado a partir de la ecuación del CSCR 2010-14.

También, el resultado del módulo de ruptura promedio para los muretes tipo M parcialmente rellenos supera el valor calculado a partir de la ecuación del CSCR 2010-14 para mampostería parcialmente rellena, en aproximadamente un 35% y de igual manera supera el máximo valor establecido por el CSCR 2010-14. El resultado del módulo de ruptura promedio de este tipo de murete en condición rellena es menor, aproximadamente un 2%, que el módulo de ruptura calculado a partir de la ecuación del CSCR 2010-14.

Como se puede observar, en todos los tipos de muretes parcialmente rellenos, el módulo de ruptura es mucho mayor que los valores obtenidos por las ecuaciones del CSCR 2010-14, e incluso dichos resultados superan el valor máximo establecido por este código. Este comportamiento, refleja que el módulo de ruptura no es directamente proporcional a la resistencia a compresión de la mampostería, tal como se explicó en la sección 6.3. Esto indica que los valores utilizados por el CSCR 2010-14 son inferiores a los obtenidos experimentalmente.

En el caso de los muretes totalmente rellenos, se tiene un comportamiento diferente según el tipo de mortero. Para los muretes tipo N, el módulo de ruptura es mayor que el valor obtenido en el CSCR 2010-14, lo cual aparenta indicar que no existe relación entre el módulo de ruptura y la resistencia a compresión de la mampostería. Por otro lado, en los muretes tipo S y tipo M, los resultados experimentales del módulo de ruptura son prácticamente iguales que los valores calculados a partir de las ecuaciones del CSCR 2010-14, esto debido a la baja diferencia en ambos valores. No obstante, es necesario tener en cuenta que los resultados del módulo de ruptura de los muretes totalmente rellenos tipo S y M no presentaron valores mayores, debido a que posiblemente existió menor adherencia entre el

bloque y el mortero o un incremento de los esfuerzos de tracción en la unidad de mampostería debido a la geometría del murete, tal y como se explicó en la sección 6.4.1.

Con base en los resultados obtenidos y la literatura consultada, es posible concluir que el módulo de ruptura de la mampostería no posee una relación directa con la resistencia a compresión de la mampostería, tal y como lo sugiere el CSCR 2010-14, sino que depende de otros factores como el tipo de mortero, la retención de agua, la tasa inicial de absorción de la unidad de la mampostería, el contenido de humedad de la mampostería, temperatura de la unidad de mampostería, la mano de obra, las condiciones superficiales de la unidad y el curado (Drysdale y Hamid 1994).

Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Se determinó que la presencia de concreto de relleno en muretes tipo N produce un incremento significativo en el módulo de ruptura y que, a mayor cantidad de concreto de relleno, el módulo de ruptura tiende a ser mayor.
- En los muretes tipo S, no se observa un comportamiento claro ante la presencia de concreto de relleno, debido al posible mejoramiento de la adherencia en los muretes sin concreto de relleno, pese a ello, se observa un ligero incremento en el módulo de ruptura de la condición parcialmente rellena a la condición totalmente rellena.
- El módulo de ruptura de los muretes tipo M, tiende a incrementar ante la presencia del concreto de relleno, sin embargo, los aumentos presentados son relativamente bajos, esto se atribuye a la adherencia del mortero, la cual se puede ver influenciada por lo poco trabajable que se vuelve la mezcla ante las variaciones ambientales del entorno.
- El módulo de ruptura depende directamente del tipo de mortero empleado. Al utilizar mortero tipo N en las condiciones parcial y totalmente rellena, se observó que este tipo de muretes presenta un módulo de ruptura mayor que al utilizar los otros tipos de mortero, por otro lado, en la condición sin relleno, los muretes tipo S presentan el mayor módulo debido a la posible mejora de adherencia.
- La adherencia entre la unidad de mampostería y el mortero, parece jugar un papel importante en la resistencia a tracción de la mampostería con esfuerzos paralelos a la junta horizontal; un mortero más trabajable, en este caso el mortero tipo N, genera mayores valores de módulo de ruptura, sin importar la resistencia a compresión del mortero.
- Los resultados de los muretes tipo S y M, en condición parcial y totalmente rellena son similares entre sí, lo que sugiere que el incremento en la resistencia a compresión del mortero, al cambiar de un mortero tipo S a un mortero tipo M no genera un incremento significativo en el módulo de ruptura de la mampostería.
- Con base en los resultados obtenidos, al utilizar un solo tipo de unidad de mampostería, no se pudo comprobar que existe una relación directamente proporcional entre el módulo de ruptura y la resistencia a compresión de la

mampostería, por el contrario, el módulo de ruptura tiende a ser menor conforme la resistencia a compresión de la mampostería aumenta, sin embargo, es necesario tomar en cuenta que estos resultados se obtuvieron al utilizar unidades de mampostería con una resistencia a compresión mucho mayor que la resistencia a compresión mínima establecida por el CSCR 2010-14.

- De manera general, se observó que los resultados obtenidos tienden a ser similares a los valores establecidos en el TMS. Al utilizar mortero tipo N los resultados tienden a ser mayores que los establecidos por el TMS, mientras que al utilizar mortero tipo S y M en condición sin relleno y parcialmente relleno, los valores son similares a los valores establecidos por el TMS.
- En el caso de los muretes tipo S y M totalmente rellenos, los resultados obtenidos son menores que los establecidos por el TMS, lo cual se puede deber a la baja adherencia entre las unidades de mampostería y el mortero, o al haber utilizado un número de hiladas impar, duplicando de esta manera los esfuerzos de tracción en las unidades de mampostería, con lo cual se origina una falla antes de lo previsto.
- Se determinó que los valores obtenidos al utilizar la ecuación del CSCR 2010-14 para mampostería parcialmente rellena son inferiores a los resultados obtenidos experimentalmente.
- En el caso de los muretes tipo N totalmente rellenos, los resultados obtenidos experimentalmente son mayores que los valores obtenidos mediante la aplicación de la ecuación del CSCR 2010-14. En el caso de los muretes tipo S y M, los resultados experimentales son prácticamente iguales que los obtenidos mediante la aplicación del CSCR 2010-14.
- Los coeficientes de variación de los resultados de módulo de ruptura son bastante bajos, y el valor máximo es aproximadamente 15%, por lo tanto, la muestra utilizada señala resultados bastante confiables.
- Se estableció un sistema constructivo que permitió la confección de cada tipo de murete según su condición de relleno y el izado de estos por medio de la grúa viajera sin que los muretes fallen por su propio peso.
- Los materiales, unidades de mampostería y mortero, utilizados en los ensayos experimentales cumplen con los requisitos mínimos para mampostería estructural.

7.2 Recomendaciones

- Para futuras tesis experimentales, realizar el tamaño de los especímenes como mínimo de 4 hiladas de altura y de 4 bloques de longitud, es decir de 160 cm x 80 cm, con el fin de tener un mismo número de juntas verticales y unidades de mampostería.
- Realizar futuras investigaciones utilizando mortero realizado en sitio, esto con el fin de verificar que el comportamiento del módulo de ruptura es similar sin importar si se emplea mortero preempacado o hecho en sitio.
- Debido a que una práctica constructiva muy común es colocar el mortero únicamente en los bordes de la junta vertical, se recomienda realizar muretes que incluyan dicha práctica constructiva y determinar si esta condición tiene alguna influencia en el módulo de ruptura.
- Con el objetivo de determinar si el concreto de relleno posee algún tipo de influencia en el módulo de ruptura, se recomienda utilizar concretos de diferentes resistencias a la compresión e incluir concretos no preempacados.
- Debido a que las unidades de mampostería utilizadas en el proceso constructivo poseían una resistencia a compresión mucho mayor que la resistencia mínima establecida por el CSCR 2010-14, se sugiere realizar pruebas con unidades de menor resistencia.
- Determinar la resistencia a tracción de las unidades de mampostería y concreto de relleno y la resistencia a flexión de las unidades de mampostería, con el fin de establecer si existe una relación entre estas propiedades y el módulo de ruptura.
- Definir la influencia del porcentaje de absorción de la unidad de mampostería en el módulo de ruptura, utilizando bloques con diferentes porcentajes de absorción.
- Utilizar diferentes distribuciones de concreto de relleno, y determinar si el espaciado del concreto de relleno posee alguna influencia en el módulo de ruptura.
- Aunque en Costa Rica predomina la mampostería traslapada, es necesario determinar el módulo de ruptura para la mampostería apilada.
- Con el fin de caracterizar de una mejor manera como se origina el modo de falla, se recomienda utilizar lectores de carga sincronizados con medidores de deformaciones en los muretes.

- Emplear unidades de mampostería de diferentes espesores, esto con el fin de determinar si el tamaño de la unidad influye en el módulo de ruptura de la mampostería nacional.

Bibliografía

- American Society of Testing Materials, ASTM. (2018). ASTM Standards. West Conshohocken, PA: American Society of Testing Materials.
- Amrhein, J. (2012). *Reinforced masonry engineering handbook clay and concrete masonry* (7^{ma} ed. en inglés). California: Masonry Institute of America, MIA.
- Arias, E. (2012). Evaluación de las propiedades de mortero preempacado para pega de bloques de mampostería. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- BIU, T. (2013). *Etude expérimentale et numérique du comportement des voiles en maçonnerie soumis à un chargement hors plan*. Proyecto de graduación para optar por el grado de doctor en Estructuras del **L'Institut National des Sciences Appliquées** de Lyon, Villeurbanne, Francia.
- Brown, R. & Melander, J. (2001). Flexural bond strength of masonry parallel to the bed joints. En *9th Canadian Masonry Symposium*. Fredericton, Canada.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. (2010-14). Código Sísmico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Drysdale, R. & Hamid, A. (1984). *Effect of Grouting on the Flexural Tensile Strength of Concrete Block Masonry*. *The Masonry Society Journal*, 3 (2), T10-T19.
- Drysdale, R. & Hamid, A. (1988). Flexural tensile strength of concrete block masonry. *Journal of the American Society of Civil Engineers*, 114(1), 50-66.
- Drysdale, R. & Hamid, A. (1994). *Masonry structures, behavior and design*. New Jersey: Prentice Hall.
- Farny, J., Melander, M. & Panarese, W. (2008). *Concrete masonry handbook for architects, engineers, builders* (6^{ta} ed. en inglés). Illinois: Portland Cement Association, PCA.
- Fernández, E., Flores, C., Varela, J. & Vargas, M. (2009). Determinación de la resistencia a tensión fuera del plano de la mampostería de bloques huecos de concreto. *Ingeniería* 13(1), 13-23.

- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (2018). San José: INTECO
- Mohammed, Y. (2001). Concrete block masonry construction to resist severe winds. Proyecto de graduación para optar por el grado de Doctorado en Ingeniería Civil, Department of Civil, Environmental and Construction Engineering, Texas Tech University, Texas, Estados Unidos.
- Narendra, T. (2010). *Design of reinforced masonry structures* (2^{da} ed. en inglés). New York: McGraw Hill Professional.
- Navas, A. (2007). Propiedades geométricas de los bloques y mampostería de concreto. *Ingeniería*, 24(2), 53-70.
- Navas, A. & Salazar, J. (2014). Propiedades a compresión de la mampostería de bloques de concreto. *Ingeniería*, 17(2), 129-144.
- Poveda, A. (1999). Notas del curso Estructuras de Mampostería IC 1014. San José: [editor no identificado].
- Schubert, P. (1994). *Tensile and Flexural Strength of Masonry- Influences Test Methods, Test Results. En 11th International Brick/Block Masonry Conference Tongji University, Shanghai, China.*
- The Masonry Society. (2016). Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures, TMS 402/602-16. Colorado: The Masonry Society.
- Vasconcelos, G. (2015). Masonry Components. Artículo de Encyclopedia of Earthquake Engineering, 1396-1411.
- Wood, S. (1995). *Flexural Bond Strength of Clay Brick Masonry. The Masonry Society Journal*, 13 (2), 45-55.

Anexos

Anexo 1. Valores del módulo de ruptura establecidos por el TMS

Table 9.1.9.2 — Modulus of rupture, f_r , psi (kPa)

Direction of flexural tensile stress and masonry type	Mortar types			
	Portland cement/lime or mortar cement		Masonry cement or air entrained portland cement/lime	
	M or S	N	M or S	N
Normal to bed joints				
Solid units	133 (919)	100 (690)	80 (552)	51 (349)
Hollow units ¹				
UngROUTED	84 (579)	64(441)	51 (349)	31 (211)
Fully grouted	163 (1124)	158 (1089)	153 (1055)	145 (1000)
Parallel to bed joints in running bond				
Solid units	267 (1839)	200 (1379)	160 (1103)	100 (689)
Hollow units				
UngROUTED and partially grouted	167 (1149)	127 (873)	100 (689)	64 (441)
Fully grouted	267 (1839)	200 (1379)	160 (1103)	100 (689)
Parallel to bed joints in masonry not laid in running bond				
Continuous grout section parallel to bed joints	335 (2310)	335 (2310)	335 (2310)	335 (2310)
Other	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

¹ For partially grouted masonry, modulus of rupture values shall be determined on the basis of linear interpolation between fully grouted hollow units and ungrouted hollow units based on amount (percentage) of grouting.

Anexo 2. Resultados de los muretes tipo N

a) Cubos de mortero

Cubo	P _{máx} (kN)	Área (mm ²)	Resistencia de mortero a 28 días (kg/cm ²)
1	14	250x10 ¹	57,1
2	14	250 x10 ¹	57,1
3	14	250 x10 ¹	57,1
Desviación Estándar (kg/cm ²)			0,00
Promedio (kg/cm ²)			57,1
COV (%)			0,00

b) Concreto de relleno

Prisma	Revenimiento (mm)	P _{máx} (kN)	Área (mm ²)	Resistencia (kg/cm ²)
1	250	73	887 x10 ¹	83,9
2	250	117	906 x10 ¹	131
3	235	184	904 x10 ¹	208
Desviación Estándar (kg/cm ²)				62,5
Promedio (kg/cm ²)				141,1
COV (%)				44,3

c) Prismas de mampostería

Prismas sin relleno									
Prisma	P _{máx} (lbs)	P _{máx} (kN)	Área promedio (mm ²)	Resistencia del prisma (Mpa)	h _p mín (mm)	t _p mín (mm)	h _p /t _p	Factor de corrección	f' _m (kg/cm ²)
NV-1	990x10 ²	440	295x10 ²	14,9	388	149	2,60	1,046	159
NV-2	950x10 ²	423	295x10 ²	14,3	387	148	2,61	1,0466	1523
NV-3	102x10 ²	453	295x10 ²	15,3	387	149	2,60	1,046	163
Desviación Estándar (kg/cm ²)									5,41
Promedio (kg/cm ²)									158
COV (%)									3,41
Prismas rellenos									
Prisma	P _{máx} (lbs)	P _{máx} (kN)	Área promedio (mm ²)	Resistencia del prisma (Mpa)	h _p mín (mm)	t _p mín (mm)	h _p /t _p	Factor de corrección	f' _m (kg/cm ²)
NR-1	162x10 ³	721	586x10 ²	12,3	389	150	2,59	1,0454	131
NR-2	178x10 ³	792	585x10 ²	13,5	389	150	2,59	1,0454	144
NR-3	207x10 ³	919	584x10 ²	15,7	388	149	2,60	1,046	168
Desviación Estándar (kg/cm ²)									18,5
Promedio (kg/cm ²)									148
COV (%)									12,5
Promedio (kg/cm²)									153

d) Muretes

Muretes sin concreto de relleno									
Murete	Peso murete (N)	Peso del murete + adicional (N)	P_{máx} (N)	L (mm)	b (mm)	d(mm)	I_{neta} (mm⁴)	S(mm³)	f_r (kg/cm²)
NV-1	12,8	14,6	104x10 ²	120x10 ¹	590	150	126x10 ⁶	168x10 ⁴	11,6
NV-2	12,7	14,5	107x10 ²	120x10 ¹	590	150	126x10 ⁶	168x10 ⁴	11,9
NV-3	12,7	14,5	101x10 ²	120x10 ¹	590	150	126x10 ⁶	168x10 ⁴	11,3
Desviación Estándar (kg/cm ²)									0,34
Promedio (kg/cm ²)									11,6
COV (%)									2,90
Muretes parcialmente rellenos									
Murete	Peso murete (N)	Peso del murete + adicional (N)	P_{máx} (N)	L (mm)	b (mm)	d(mm)	I_{neta} (mm⁴)	S (mm³)	f_r (kg/cm²)
NP-1	18,1	20,5	129x10 ²	120x10 ¹	590	150	126x10 ⁶	168x10 ⁴	14,4
NP-2	18,3	20,7	116x10 ²	120x10 ¹	590	150	126x10 ⁶	168x10 ⁴	12,9
NP-3	18,2	20,6	105x10 ²	120x10 ¹	590	150	126x10 ⁶	168x10 ⁴	11,7
Desviación Estándar (kg/cm ²)									1,35
Promedio (kg/cm ²)									13,0
COV (%)									10,4
Muretes totalmente rellenos									
Murete	Peso murete (N)	Peso del murete + adicional (N)	P_{máx} (N)	L (mm)	b (mm)	d(mm)	I_{neta} (mm⁴)	S(mm³)	f_r (kg/cm²)
NR-1	23,70	26,08	181x10 ¹	120x10 ¹	590	150	166x10 ⁶	221 x10 ⁴	15,4
NR-2	23,51	25,89	181x10 ¹	120x10 ¹	590	150	166x10 ⁶	221 x10 ⁴	15,3
NR-3	23,65	26,03	193x10 ¹	120x10 ¹	590	150	166x10 ⁶	221x10 ⁴	16,4
Desviación Estándar (kg/cm ²)									0,58
Promedio (kg/cm ²)									15,7
COV (%)									3,68

Anexo 3. Resultados de los muretes tipo S

a) Cubos de mortero

Cubo	P _{máx} (kN)	Área (mm ²)	Resistencia de mortero a 28 días (kg/cm ²)
1	31,0	250x10 ¹	126
2	33,9	250x10 ¹	138
3	31,4	250x10 ¹	128
Desviación Estándar (kg/cm ²)			6,29
Promedio (kg/cm ²)			131
COV (%)			4,81

b) Concreto de relleno

Prisma	Revenimiento (mm)	P _{máx} (kN)	Área (mm ²)	Resistencia (kg/cm ²)
1	245	187	871x10 ¹	219
2	245	193	893x10 ¹	219
3	250	150	902x10 ¹	169
Desviación Estándar (kg/cm ²)				29,2
Promedio (kg/cm ²)				203
COV (%)				14,4

c) Prismas de mampostería

Prismas sin relleno									
Prisma	P _{máx} (lbs)	P _{máx} (kN)	Área promedio (mm ²)	Resistencia del prisma (Mpa)	h _p mín (mm)	t _p mín (mm)	h _p /t _p	Factor de corrección	f' _m (kg/cm ²)
SV-1	985x10 ²	438	295x10 ²	14,8	388	148	2,62	1,05	158
SV-2	755x10 ²	36	295x10 ²	11,4	386	150	2,57	1,04	121
SV-3	915x10 ²	407	295x10 ²	13,8	384	150	2,56	1,04	147
Desviación Estándar (kg/cm ²)									19,1
Promedio (kg/cm ²)									142
COV (%)									13,4
Prismas rellenos									
Prisma	P _{máx} (lbs)	P _{máx} (kN)	Área promedio (mm ²)	Resistencia del prisma (Mpa)	h _p mín (mm)	t _p mín (mm)	h _p /t _p	Factor de corrección	f' _m (kg/cm ²)
SR-1	178x10 ²	790	586x10 ²	13,5	388	150	2,59	1,0454	144
SR-2	184x10 ²	818	585x10 ²	13,9	385	150	2,57	1,042	148
SR-3	197x10 ²	876	584x10 ²	14,9	390	149	2,62	1,046	160
Desviación Estándar (kg/cm ²)									8,19
Promedio (kg/cm ²)									151
COV (%)									5,44
Promedio (kg/cm²)									146

d) Muretes

Muretes sin concreto de relleno									
Murete	Peso murete (N)	Peso del murete + adicional (N)	P_{máx} (N)	L (mm)	b (mm)	d (mm)	I_{neta} (mm⁴)	S(mm³)	fr (Kg/cm²)
SV-1	13,6	15,4	124x10 ²	120x10 ¹	590	150	126x10 ⁶	168x10 ⁴	13,9
SV-2	13,6	15,4	135x10 ²	120x10 ¹	590	150	126x10 ⁶	168x10 ⁴	15,0
SV-3	13,4	15,2	119x10 ²	120x10 ¹	590	150	126x10 ⁶	168x10 ⁴	13,3
Desviación Estándar (kg/cm ²)									0,89
Promedio (kg/cm ²)									14,1
COV (%)									6,35
Muretes parcialmente rellenos									
Murete	Peso murete (N)	Peso del murete + adicional (N)	P_{máx} (N)	L (mm)	b (mm)	d(mm)	I_{real} (mm⁴)	S(mm³)	fr (Kg/cm²)
SP-1	18,6	21,0	997x10 ²	120x10 ¹	590	150	126x10 ⁶	168x10 ⁴	11,1
SP-2	18,6	20,1	112x10 ²	120x10 ¹	590	150	126x10 ⁶	168x10 ⁴	12,5
SP-3	18,5	20,9	128x10 ²	120x10 ¹	590	150	126x10 ⁶	168x10 ⁴	14,3
Desviación Estándar (kg/cm ²)									1,60
Promedio (kg/cm ²)									12,7
COV (%)									12,7
Muretes totalmente rellenos									
Murete	Peso murete (N)	Peso del murete + adicional (N)	P_{máx} (N)	L (mm)	b (mm)	d(mm)	I_{real} (mm⁴)	S(mm³)	fr (Kg/cm²)
SR-1	23,7	26,1	156x10 ²	120x10 ¹	590	150	166x10 ⁶	221 x10 ⁴	13,3
SR-2	23,6	26,0	158x10 ²	120x10 ¹	590	150	166x10 ⁶	221 x10 ⁴	13,4
SR-3	23,7	26,1	145x10 ²	120x10 ¹	590	150	166x10 ⁶	221x10 ⁴	12,3
Desviación Estándar (kg/cm ²)									0,61
Promedio (kg/cm ²)									13,0
COV (%)									4,70

Anexo 4. Resultados de los muretes tipo M

a) Cubos de mortero

Cubo	P _{máx} (kN)	Área (mm ²)	Resistencia de mortero a 28 días (kg/cm ²)
1	39,4	250x10 ¹	161
2	40,7	250x10 ¹	166
3	39,2	250x10 ¹	160
Desviación Estándar (kg/cm ²)			3,25
Promedio (kg/cm ²)			162
COV (%)			2,01

b) Concreto de relleno

Prisma	Revenimiento (mm)	P _{máx} (kN)	Área (mm ²)	Resistencia (kg/cm ²)
1	245	132	906x10 ¹	148
2	245	101	871x10 ¹	118
3	250	116	925x10 ¹	128
Desviación Estándar (kg/cm ²)				15,6
Promedio (kg/cm ²)				131
COV (%)				11,9

c) Prismas de mampostería

Prismas sin relleno									
Prisma	P _{máx} (lbs)	P _{máx} (kN)	Área promedio (mm ²)	Resistencia del prisma (Mpa)	h _{pmín} (mm)	t _{pmín} (mm)	h _p /t _p	Factor de corrección	f _m (kg/cm ²)
MV-1	134x10 ³	596	313x10 ²	19,0	389	150	2,59	1,0454	203
MV-2	128x10 ³	567	313x10 ²	18,1	394	150	2,63	1,0478	193
MV-3	130x10 ³	576	313x10 ²	18,4	388	151	2,57	1,0442	196
Desviación Estándar (kg/cm ²)									4,88
Promedio (kg/cm ²)									197
COV (%)									2,48
Prismas rellenos									
Prisma	P _{máx} (lbs)	P _{máx} (kN)	Área promedio (mm ²)	Resistencia del prisma (Mpa)	h _{pmín} (mm)	t _{pmín} (mm)	h _p /t _p	Factor de corrección	f _m (kg/cm ²)
MR-1	194x10 ³	865	586x10 ²	14,8	390	150	2,60	1,05	158
MR-2	215x10 ³	954	584x10 ²	16,3	390	150	2,61	1,05	174
MR-3	178x10 ³	789	588x10 ²	13,4	395	150	2,63	1,05	144
Desviación Estándar (kg/cm ²)									15,5
Promedio (kg/cm ²)									158
COV (%)									9,75
Promedio (kg/cm²)									178

d) Muretes

Muretes sin concreto de relleno									
Murete	Peso murete (N)	Peso del murete + adicional (N)	P_{máx} (N)	L (mm)	b (mm)	d (mm)	I_{neto} (mm⁴)	S(mm³)	f_r (Kg/cm²)
MV-1	13,4	15,2	113x10 ²	120x10 ¹	590	150	130x10 ⁶	173 x10 ⁴	12,2
MV-2	13,6	15,4	104x10 ²	120x10 ¹	590	150	130x10 ⁶	173 x10 ⁴	11,3
MV-3	13,6	15,4	104x10 ⁴	120x10 ¹	590	150	130x10 ⁶	173 x10 ⁴	11,2
Desviación Estándar (kg/cm ²)									0,56
Promedio (kg/cm ²)									11,6
COV (%)									4,80
Muretes parcialmente rellenos									
Murete	Peso murete (N)	Peso del murete + adicional (N)	P_{máx} (N)	L (mm)	b (mm)	d(mm)	I_{neto} (mm⁴)	S(mm³)	f_r (Kg/cm²)
MP-1	18,5	20,3	108x10 ²	120x10 ¹	590	150	130x10 ⁶	173 x10 ⁴	11,7
MP-2	18,6	20,4	118x10 ²	120x10 ¹	590	150	130x10 ⁶	173 x10 ⁴	12,8
MP-3	18,6	20,5	108x10 ²	120x10 ¹	590	150	130x10 ⁶	173 x10 ⁴	11,8
Desviación Estándar (kg/cm ²)									0,62
Promedio (kg/cm ²)									12,1
COV (%)									5,10
Muretes totalmente rellenos									
Murete	Peso murete (N)	Peso del murete + adicional (N)	P_{máx} (N)	L (mm)	b (mm)	d (mm)	I_{neto} (mm⁴)	S(mm³)	f_r (Kg/cm²)
MR-1	23,7	25,5	159x10 ²	120x10 ¹	590	150	166x10 ⁶	221 x10 ⁴	13,5
MR-2	23,6	25,4	167x10 ²	120x10 ¹	590	150	166x10 ⁶	221 x10 ⁴	14,2
MR-3	23,7	25,5	138x10 ²	120x10 ¹	590	150	166x10 ⁶	221x10 ⁴	11,7
Desviación Estándar (kg/cm ²)									1,28
Promedio (kg/cm ²)									13,1
COV (%)									9,79