

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

**Comportamiento Estructural a Escala Reducida de muros esbeltos de
mampostería confinada e integral.**

Proyecto de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Lizeth Venegas Venegas

Director de Proyecto de Graduación:

Ing. Alejandro Navas Carro M. Sc

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Noviembre 2010

Hoja de Aprobación

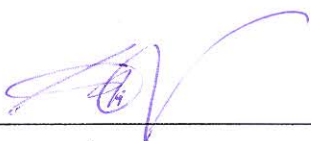
Miembros del Tribunal de Graduación



Director. Ing. Alejandro Navas Carro M Sc.



Estudiante. Lizeth Venegas Venegas



Asesor . Ing. Álvaro Poveda Vargas M Sc.



Asesor. Ing. Goering Carballo Rodriguez, Lic.

Fecha: 2010, Noviembre, 4

El suscrito, Lizeth Venegas Venegas, cédula 1-1307-0078, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **A56090**, manifiesta que es autora del Proyecto Final de Graduación **Comportamiento Estructural a Escala Reducida de muros esbeltos de mampostería confinado e integral**, bajo la Dirección del **Ing. Alejandro Navas Carro M. Sc**, 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.

A Dios por permitirme estar con vida y lograr culminar mi carrera con éxito.

A mis padres Jeannette Venegas y José Luis Venegas por el apoyo incondicional que me han brindado dado en todos los momentos de mi vida.

A mis queridos hermanos Jeffry y Pablo y a mi hermanita Yesenia, por su ánimo, paciencia y cariño.

A mi novio Luis Arturo por su ayuda indispensable en la elaboración de esta investigación y a todas las personas que siempre confiaron en mí y me dieron su apoyo para lograr concluir esta etapa de mi vida.

A Dios por estar siempre a mi lado y concederme las fuerzas para lograr mis metas y poder culminar una de ellas.

A mis padres Jeannette Venegas y José Luis Venegas por el apoyo constante que hicieron posible la culminación de mi carrera, por darme fuerzas en los momentos difíciles y el sinnúmero de muestras de cariño que me hacen ser la persona más afortunada del mundo. A mis hermanos Jeffry y Pablo y mi hermanita Yesenia por siempre confiar en mí, por tenerme tanta paciencia, y brindarme su apoyo y cariño incondicional.

A mi novio por toda la ayuda incondicional que este me dio durante toda la elaboración de este proyecto; y a mis amigos por sus consejos y apoyarme en todo momento para lograr terminar con éxito este proyecto.

A mis compañeros y amigos con los que compartimos trabajos, aprendimos mucho uno del otro en esta etapa universitaria y dieron su aporte a que este trabajo se concluyera con éxito: María José Campos, Bernardo Salas, David Aragón, Jorge Quesada, Guillermo Vargas y Daniel Jiménez, Susana Chaves, Mauricio Mora y Houseman Arroyo.

A mi director Ing. Alejandro Navas, el cual me brindo su apoyo, conocimiento y su gran disposición en todo momento en la elaboración de este trabajo.

A los asesores el Ing. Álvaro Poveda y el Ing. Goering Carballo, por sus consejos, ayuda en momentos pertinentes y la oportunidad que me dieron de aprender de ellos.

Al Ing. Francisco Villalobos por su gran aporte a este trabajo tanto con su conocimiento, paciencia y buenos consejos que este me brindo en todo momento en la realización de este trabajo. A Daniel Zamora, Jorge Mora, Jonathan González, José David Morales, Luis Pablo Blanco, Ing. Oscar Valerio y demás personal del Laboratorio de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR), por la ayuda brindada durante el proceso de fabricación de los modelos estructurales.

Al Ing. Humberto Tioli de LanammeUCR por su ayuda, consejos valiosos y la oportunidad de ser parte de un proceso de aprendizaje permitiéndome trabajar con él.

A todos ustedes Muchas Gracias porque sin su ayuda este trabajo no hubiera sido posible.

Índice

Resumen.....	xv
Prólogo.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Generalidades.....	2
1.2 Antecedentes.....	3
1.3 Objetivo General.....	6
1.4 Objetivos Específicos	6
1.5 Alcances	7
1.6 Limitaciones.....	7
MATERIALES	8
2.1 Generalidades.....	9
2.2 Arena.....	10
2.2.1 <i>Análisis granulométrico de un agregado (ASTM C136-06)</i>	11
2.2.2 <i>Peso específico y absorción de agregados finos (ASTM C128-07)</i>	12
2.2.3 <i>Impurezas orgánicas en agregados finos para concreto (ASTM C40-04)</i>	13
2.3 Cemento.....	13
2.4 Acero de refuerzo	13
2.5 Unidades de mampostería	20
2.6 Microconcreto de relleno.....	26
2.7 Mortero.....	29
2.8 Microconcreto para la fundación, vigas y columnas	32
2.9 Prismas de mampostería.....	34
2.10 Elaboración de aros de confinamiento para los muros integrales.....	37
MODELOS ESTRUCTURALES Y MONTAJE EXPERIMENTAL.....	39
3.1 Generalidades.....	40
3.2 Factor de escala	41
3.3 Geometría de los modelos	41
3.3.1 <i>Muros Confinados</i>	41

3.3.2 Muros Integrales.....	45
3.4 Resistencia	48
3.5 Construcción de los modelos	50
3.5.1 Construcción y cura de los bloques.....	50
3.5.2 Fabricación de las armaduras de la viga fundación, columnas y viga corona....	51
3.5.3 Encofrado de las vigas de fundación.....	52
3.5.4 Colado y cura de la viga de fundación.....	53
3.5.5 Fabricación y cura del paño de mampostería	54
3.5.5.1 Muros Confinados.....	54
3.5.5.2 Muros Integrales.....	59
3.5.6 Encofrado de las columnas en los muros confinados.....	63
3.5.7 Colado y cura de las columnas en los muros confinados.....	64
3.5.8 Encofrado de las vigas coronas.....	65
3.5.9 Colado y cura de la viga corona	67
3.5.10 Desencofrado.....	69
3.6 Montaje Experimental.....	72
3.7 Instrumentación	75
3.8 Carga aplicada.....	77
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	79
4.1 Generalidades.....	80
4.1 Cargas últimas en los modelos estructurales	81
4.2 Modo de falla de los elementos estructurales	84
4.2.1 Muros de mampostería Integral.....	84
4.2.2 Muros de mampostería Confinada.....	92
4.3 Ductilidad de los modelos estructurales.....	101
4.3.1 Comparación de las curvas de los 4 muros ensayados.....	103
4.4.1 Comparación de las consideraciones generales de las dos investigaciones.....	104
4.4.3 Comparación de los modos de fallas de las dos investigaciones.....	106
4.4.4 Comparación de las ductilidades de las dos investigaciones.....	110
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	112
REFERENCIAS	116
BIBLIOGRÁFICAS	116

ANEXOS	120
ANEXO A. Ensayos de los materiales	121
A.1 Arena.....	121
A.2 Cemento	125
A.3 Acero de refuerzo	126
ANEXO B. Procedimiento de diseño de los bloques de mampostería.....	128
B.1. Tamaño máximo	128
B.2. Relación agua/cemento.....	129
B.3. Volumen de mezcla.....	129
B.4. Peso de la arena	129
B.5. Peso del cemento.....	130
B.6. Peso del agua	131
B.7. Dosificación por peso.....	131
ANEXO C. Cálculos para determinar el área	133
C.1 Cálculo del área neta de los bloques de mampostería.....	133
C.2 Cálculo del área de los prismas del microconcreto de relleno.....	136
C.3 Cálculo del área de los cubos del mortero.....	137
C.4 Cálculo del área de los cilindros del microconcreto de la fundación, columnas y viga corona	137
ANEXO D. Diseño del muro prototipo	139
D.2 Diseño de los elementos de borde. Muros confinados	145
D.3 Diseño del paño de mampostería.....	148
D.4 Diseño a cortante	154
D.5 Revisión del acero mínimo	159
D.6 Revisión de requisitos para ductilidad local óptima	160
ANEXO E. Datos obtenidos de las pruebas realizadas al alambre galvanizado	161
ANEXO F. Aros de confinamiento.....	164
ANEXO G. Determinación de las cargas de falla de los muros en escala reducida.....	166
ANEXO H. Datos experimentales obtenidos de la falla de los modelos estructurales...	168
I.1 Resumen del procedimiento.....	175
I.2 Ductilidad del muro integral 1	176
I.3 Ductilidad del muro integral 2.....	178

I.4 Ductilidad del muro confinado 1	180
I.5 Ductilidad del muro confinado 2	182
ANEXO J. Comparación de las variaciones que se han desarrollado del CSCR-02 vs el CSCR-10	184

Índice de Figuras

Figura 1. Granulometría de la arena.....	12
Figura 2. Máquina Corrugadora.....	14
Figura 3. Máquina de ensayos. MTS.....	15
Figura 4. Montaje del alambre galvanizado #12.....	16
Figura 5. Gráfico de comportamiento del alambre galvanizado #12.....	17
Figura 6. Recta del gráfico de comportamiento de donde se obtiene el módulo de elasticidad del alambre galvanizado #12.....	18
Figura 7. Gráfico de comportamiento del alambre galvanizado #16.....	18
Figura 8. Recta del gráfico de comportamiento de donde se obtiene el módulo de elasticidad del alambre galvanizado #16.....	19
Figura 9. Moldes de bloques de mampostería a escala reducida	20
Figura 10. Curado de los bloques de mampostería.....	21
Figura 11. Equipo de capeo.....	23
Figura 12. Espátula y nivel para capeo.....	23
Figura 13. Proceso de coronamiento	24
Figura 14. Equipo de falla. FORNEY F-50C-DFM/I.....	24
Figura 15. Equipo de falla. Controls 82-P0326/DB.....	25
Figura 16. Bloques fallados	25
Figura 17. Bloques modulares para el paño de mampostería	26
Figura 18. Modulación de los dados de falla del microconcreto de relleno.....	27
Figura 19. Dados de falla del microconcreto de relleno	28
Figura 20. Equipo de falla. MTS Material Test System.....	28
Figura 21. Cubos de falla del mortero	30
Figura 22. Cubos de falla del mortero	31
Figura 23. Molde de las muestras cilíndricas del microconcreto de relleno	33
Figura 24. Cilindros de microconcreto después de la falla	33
Figura 25. Muestras cilíndricas en su proceso de curado	33
Figura 26. Prismas de mampostería rellenos	36
Figura 27. Prismas de mampostería vacíos.....	36
Figura 28. Aros de confinamiento.....	38
Figura 29. Aros de confinamiento terminados	38
Figura 30. Representación gráfica de los muros confinados (sin escala).	44
Figura 31. Representación gráfica de los muros integrales (sin escala).....	47
Figura 32. Procedimiento seguido en la fabricación de los bloques de mampostería.	51
Figura 33. Encofrado y colada de la viga fundación	53
Figura 34. Colocación del mortero de pega y del acero horizontal.....	55
Figura 35. Anclaje del refuerzo horizontal a las columnas	55
Figura 36. Colocación del microconcreto de relleno.....	56

Figura 37. Alineamiento Horizontal.....	57
Figura 38. Alineamiento Vertical.....	58
Figura 39. Paño de mampostería del muro confinado	59
Figura 40. Pega de bloques del muro integral	60
Figura 41. Anclaje del refuerzo horizontal en el muro integral	61
Figura 42. Anclaje del refuerzo horizontal y colocación de los aros de confinamiento en el muro integral	62
Figura 43. Anclaje del refuerzo horizontal en el muro integral.....	63
Figura 44. Finalizado la colada de las columnas	64
Figura 45. Armadura de la viga corona de los muros integrales	66
Figura 46. Encofrado de la viga corona de los muros integrales.....	66
Figura 47. Encofrado de la viga corona de los muros integrales.....	67
Figura 48. Proceso de colado de la viga corona	68
Figura 49. Colado de la viga corona en los muros confinados	69
Figura 50. Desencofrado de la viga corona de una muro integral.....	70
Figura 51. Muros curados 28 días.	70
Figura 52. Muros después de su proceso de desencofrado.	71
Figura 53. Muro integral pintado	71
Figura 54. Procedimiento del montaje del muro a ensayar	72
Figura 55. Montaje del muro a ensayar	73
Figura 56. Montaje del muro a ensayar	74
Figura 57. Deformímetros 1,2 y 3 colocados para la falla.....	76
Figura 58. Deformímetro 4 y celda de carga colocados para la falla.....	77
Figura 59. Falla del muro integral #1	85
Figura 60. Levantamiento del muro en el lado de la tensión.....	85
Figura 61. Falla del muro integral #1	86
Figura 62. Compresión del muro integral #1	86
Figura 63. Curva de carga-desplazamiento de la precarga de el muro integral #1	87
Figura 64. Curva de carga-desplazamiento de el muro integral #1	88
Figura 65. Falla del muro integral #2	89
Figura 66. Ampliación de la falla del muro integral #2.	90
Figura 67. Falla del muro integral #2.	90
Figura 68. Ampliación de la falla en la zona de compresión del muro integral #2.	90
Figura 69. Curva de carga-desplazamiento de la precarga de el muro integral #2.....	91
Figura 70. Curva de carga-desplazamiento de el muro integral #2	92
Figura 71. Falla del muro confinado #1.....	94
Figura 72. Ampliación de la foto anterior donde se observa la falla en la fundación.....	94
Figura 73. Falla del muro confinado #1.....	95
Figura 74. Curva de carga-desplazamiento de la precarga de el muro confinado #1	96
Figura 75. Curva de carga-desplazamiento de el muro confinado #1.....	97
Figura 76. Falla del muro confinado #2.....	98

Figura 77. Levantamiento del muro en el lado de la tensión.	98
Figura 78. Falla del segundo muro confinado.....	99
Figura 79. Curva de carga-desplazamiento de la precarga de el muro confinado #2	100
Figura 80. Curva de carga-desplazamiento de el muro confinado #2.....	101
Figura 81. Comparación de las curvas carga- desplazamiento de los 4 modelos	103
Figura 82. Muro integral de Feoli G., 1996, después de la falla	107
Figura 83. Muro integral de Feoli G., 1996, después de la falla	107
Figura 84. Muro confinado de Feoli G., 1996, después de la falla.....	109
Figura 85. Porcentaje pasando en comparación con los límites requeridos	123
Figura 86. Modelado de los prismas de microconcreto de relleno.....	136
Figura 87. Molde de los cubos de microconcreto de mortero.	137
Figura 88. Molde de los cilindros de microconcreto de relleno.....	138
Figura 89. Distribución de fuerzas sísmicas	140
Figura 90. Modelo de distribución de fuerzas sísmicas	140
Figura 91. Fuerzas en los elementos confinantes	145
Figura 92. Fuerzas en el muro.....	148
Figura 93. Propuesta de refuerzo para los muros Confinados.....	148
Figura 94. Propuesta de refuerzo para los muros Integrales.	149
Figura 95. Gráfico de comportamiento de la primera muestra del alambre #12.....	161
Figura 96. Gráfico de comportamiento de la segunda muestra del alambre #12.....	162
Figura 97. Gráfico de comportamiento de la primera muestra del alambre #16.....	162
Figura 98. Gráfico de comportamiento de la segunda muestra del alambre #16.....	163
Figura 99. Gráfico del corte de la placa y aro de confinamiento	164
Figura 100. Curva carga- desplazamiento del muro integral #1.	169
Figura 101. Curva carga- desplazamiento del muro integral 2.....	171
Figura 102. Curva carga- desplazamiento del muro confinado 1.	173
Figura 103. Curva carga- desplazamiento del muro confinado 2.	174
Figura 104. Procedimiento para obtener deformación elástica del muro integral 1.....	176
Figura 105. Pendiente del estado elástico del muro integral 1.	177
Figura 106. Procedimiento para obtener deformación elástica del muro integral 2.....	178
Figura 107. Pendiente del estado elástico del muro integral 2.	179
Figura 108. Procedimiento para obtener deformación elástica del muro confinado 1.	180
Figura 109. Pendiente del estado elástico del muro confinado 1.	181
Figura 110. Procedimiento para obtener deformación elástica del muro confinado 2.	182
Figura 111. Pendiente del estado elástico de la curva muro confinado 2.....	183

Índice de cuadros

Cuadro 1. Tamaño máximo de la arena.....	10
Cuadro 2. Distribución Granulométrica	11
Cuadro 3. Peso específico y absorción del agregado fino	12
Cuadro 4. Peso específico del cemento	13
Cuadro 5. Diámetros de acero.....	15
Cuadro 6. Propiedades del acero.....	16
Cuadro 7. Dosificación para el diseño de mezcla definitivo.....	22
Cuadro 8. Resistencia de los bloques a los 28 días de edad	22
Cuadro 9. Proporciones por volumen del cemento y arena en el mortero	27
Cuadro 10. Proporciones por volumen del mortero	27
Cuadro 11. Resistencia de los dados de microconcreto de relleno.....	29
Cuadro 12. Proporciones por volumen del cemento y arena en el mortero	30
Cuadro 13. Proporciones por volumen del mortero	30
Cuadro 14. Resistencia de los cubos del mortero a los 7 días.....	31
Cuadro 15. Resistencia de los cubos del mortero a los 28 días.....	32
Cuadro 16. Resistencia de los microconcretos a los 28 días	32
Cuadro 17. Resistencias obtenidas de las fallas de cilindros	34
Cuadro 18. Resistencias obtenidas de las fallas de los prismas	35
Cuadro 19. Dimensiones a escala natural de los elementos	42
Cuadro 20. Cantidad de refuerzo de acero en los elementos.....	42
Cuadro 21. Dimensiones a escala natural de los elementos	45
Cuadro 22. Cantidad de refuerzo de acero en los elementos.....	46
Cuadro 23. Cumplimiento de las resistencias de los elementos de los muros	49
Cuadro 24. Carga de falla teórica por tipo de muro.....	49
Cuadro 25. Resultados experimentales obtenidos	81
Cuadro 26. Porcentajes de variación de las resistencias últimas.....	82
Cuadro 27. Promedios de la resistencia últimas de los modelos estructurales	82
Cuadro 28. Comparación entre cargas experimentales y teóricas.....	83
Cuadro 29. Resultados de la ductilidad de los modelos estructurales	102
Cuadro 30. Comparación de datos generales	105
Cuadro 31. Comparación del refuerzo en el paño de mampostería.....	105
Cuadro 32. Promedio de la ductilidad de los datos de esta investigación	110
Cuadro 33. Resultados de la ductilidad extraídos de la investigación de Feoli G., 1996..	110
Cuadro 34. Promedio de la ductilidad de ambas investigaciones.....	111
Cuadro 35. Peso retenido del material en las mallas	121
Cuadro 36. Porcentaje pasando del material en las mallas.....	122
Cuadro 37. Datos de las muestras de acero galvanizado.....	127
Cuadro 38. Resistencia de los bloques	128

Cuadro 39. Dosificación del microconcreto de bloques.....	132
Cuadro 40. Dosificación del microconcreto de bloques utilizada.....	132
Cuadro 41. Altura de los bloques	134
Cuadro 42. Altura de los bloques	135
Cuadro 43. Volumen de los bloques.....	135
Cuadro 44. Área neta de los bloques.....	136
Cuadro 45. Área neta de los cilindros.....	138
Cuadro 46. Datos experimentales del muro integral 1.....	168
Cuadro 47. Datos experimentales del muro integral 2.....	170
Cuadro 48. Datos experimentales del muro confinado 1	171
Cuadro 49. Datos experimentales del muro confinado 2	173
Cuadro 50. Cálculos para obtener la ductilidad del muro integral 1.....	177
Cuadro 51. Cálculos para obtener la ductilidad del muro integral 2.....	179
Cuadro 52. Cálculos para obtener la ductilidad del muro confinado 1	181
Cuadro 53. Cálculos para obtener la ductilidad del muro confinado 2	183
Cuadro 54. Comparación de cambios realizados en el capítulo 9 desde el CSCR-02 al borrador del CSCR-10.....	184

Índice de abreviaturas

LanammeUCR: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica.

CSCR-02: Código Sísmico de Costa Rica del 2002.

CSCR-10: Código Sísmico de Costa Rica del 2010.

ASTM: American Society for Testing and Materials

E: Módulo de elasticidad

f'_m : Resistencia a la compresión de la mampostería, a los 28 días

f'_c : Resistencia a la compresión del microconcreto, a los 28 días

G_s : Peso específico de la arena

D: Porcentaje de absorción de la arena

f_y : Esfuerzo de fluencia en el acero

A/C: Relación agua – cemento

A_g : Porcentaje de agregado

C_s : Fuerza de compresión del acero

T: Fuerza de tracción del acero

ϕ : Factor de reducción

h: Altura del paño de bloques de los muros

d: Ancho del paño de bloques de las muros

h/d: Relación de aspecto de los muros

Resumen

Venegas Venegas, Lizeth.

Comportamiento Estructural a Escala Reducida de muros esbeltos de mampostería confinada e integral.

Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil - San José, C.R.:

L. Venegas. V., 2010

XIV, 119, 65 h; ils.col.- 22 refs.

Resumen

Estudiar experimentalmente el comportamiento de muros de mampostería confinada, e integral sometidos a una carga puntual monotónica creciente (a escala reducida $1/6$), diseñados para ductilidad local óptima según el CSCR-02.

El diseño de los muros se basó en el CSCR-02 y el capítulo 9 del borrador del CSCR-10, además de una amplia revisión bibliográfica y de proyectos de graduación anteriores. Al mismo tiempo que se desarrollaba este diseño se hicieron todas las pruebas correspondientes a los materiales que se utilizaron y así se comenzó con la fabricación de los bloques, las armaduras y concluyendo con la fabricación de los muros. Con estas construidas se dio el montaje y ensayo de los muros con lo cual se elaboró una comparación del análisis teórico realizado con las recomendaciones del borrador de la propuesta del CSCR-10, con lo obtenido del ensayo. Con esto se desarrollaron las conclusiones y recomendaciones como el aporte del proyecto. L.V.V

Se obtienen resultados conservadores, cumpliendo exitosamente los requisitos del borrador del CSCR-10. Además se logra comparar modos de falla entre la mampostería integral y confinada, así como, diagramas de carga- deformación y sus respectivas ductilidades.

CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA; DUCTILIDAD ÓPTIMA; FALLA POR FLEXIÓN

Ing. Alejandro Navas Carro M. Sc

Escuela de Ingeniería Civil

Prólogo

En el siguiente escrito se presenta el estudio experimental del comportamiento de dos muros de mampostería confinada y dos muros de mampostería integral, utilizando el modelado para investigar su conducta ante una carga lateral monótonica creciente. Los modelos a escala reducida se desarrollaron con un factor de $1/6$, y con una relación altura-ancho $(h/d) = 2$.

Este proyecto tuvo como finalidad comparar el comportamiento experimental de estos muros con análisis teóricos, en donde predomina la falla por flexión; además se verificó el cumplimiento de las recomendaciones del CSCR-02 y el borrador del CSCR-10 para muros de mampostería, correspondientes al capítulo 9 de Mampostería del CSCR-02 y del capítulo 9 de Mampostería del borrador del CSCR-10. Este documento se ha convertido en la guía a seguir en la construcción de nuestro país por su rico contenido de información y experiencia, es por esto que su importancia recae en aportar conocimiento y datos experimentales con el desarrollo de este tipo de ensayos en mampostería.

Se enfatizó en el sólido respaldo que representan estos ensayos experimentales con modelos a escala reducida que son igualmente satisfactorios que a escala natural, a un menor costo y menor esfuerzo constructivamente.

De la importancia de realizar un nuevo aporte a la sociedad constructiva se dió la creación de este proyecto de graduación, que sirvió de comparación con lo enunciado en el capítulo 9 de Mampostería del borrador del CSCR-10, y así se corroboró que los cambios que se desarrollaron en estos códigos sean precisamente mejoras que faciliten la comprensión y análisis de estructuras de mampostería.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

En el borrador del CSCR-10 se especifican los requerimientos de diseño y construcción de edificaciones de mampostería ante la presencia de fuerzas sísmicas, esto lo contempla en el capítulo 9 de Requisitos para mampostería estructural y en el Apéndice A. El CSCR se convirtió en la guía a seguir en la construcción de nuestro país por su rico contenido de información y experiencia, es por esto la importancia de desarrollar ensayos en mampostería confinada e integral que aporten conocimiento y datos experimentales, que corroboren que los cambios que se desarrollaron en este documento sean precisamente mejoras que faciliten la comprensión y análisis de estructuras de mampostería.

En Costa Rica la mayoría de las edificaciones en el país se desarrollan de mampostería, por lo que se quiere mejorar los requisitos para así optimizar las técnicas puestas en práctica, y poder desempeñar de manera más satisfactoria y sencilla lo que se estipula en planos a la hora de una obra.

La calidad de los materiales influyeron en el comportamiento final del muro (deslizamiento de sisas y mortero de pega de baja resistencia, entre otros), además el tipo de construcción de los modelos por su intervención en el comportamiento estructural de los muros ante cargas laterales.

Se desarrolló este proyecto para obtener la resistencia experimental de estructuras tanto confinadas como integrales para compararlas con análisis teóricos, en donde predominó la falla por flexión; además se verificó que el comportamiento experimental de los dos tipos de muros cumplieran las recomendaciones para muros de mampostería, correspondientes al capítulo 9 de Mampostería del CSCR-02 y el capítulo 9 de Mampostería del borrador del CSCR-10. En este documento, el apartado correspondiente a los muros de mampostería confinada se amplió y se aclararon sistemas constructivos que en el código anterior quedaban confusos.

Además se va a lograr estudiar experimentalmente el comportamiento de dos muros de mampostería confinada y dos muros de mampostería integral, utilizando el modelado para

investigar el comportamiento ante una carga lateral monotónica creciente. Los modelos a escala reducida se desarrollaron con un factor de $1/6$, y con una relación $h/d= 2$. Los muros se construyeron siguiendo el sistema constructivo de muros de mampostería con marcos de concreto, según el borrador del CSCR-10 y se ensayaron en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR).

Además es fundamental resaltar la importancia de una investigación experimental con modelos a escala reducida por el alto costo de la modelación a escala natural y por un mayor esfuerzo en su construcción. Teniendo como base una proporción definida y requerimientos mínimos para la elaboración de modelos a escala reducida, se obtuvieron datos experimentales comparables, esto por el sólido respaldo de las pruebas de laboratorio y de los fundamentos teóricos en los que se basan los códigos de nuestro país, que proporcionan una guía en el diseño estructural.

1.2 Antecedentes

Se cuenta con una gran cantidad de investigaciones y trabajos de graduación, teóricas y prácticas que tienen como objetivo analizar el comportamiento de los muros de mampostería, estos se diseñaron utilizando el CSCR-1986, el CSCR-2002 y el capítulo 9 del borrador del CSCR-10. Todos estos van a servir como antecedentes a este proyecto y servirán como base para trabajar y obtener conocimientos de los resultados y análisis.

En este proyecto se evaluó, de forma teórica y experimental, las disposiciones del diseño de muros de mampostería confinada e integral utilizando el capítulo 9 del borrador del CSCR-10, que es un documento que todavía no ha sido publicado y no tiene antecedentes teóricos y prácticos que traten este problema específico. Si hay investigaciones que anteceden a esta, sobre muros de mampostería confinada en escala natural y en escala reducida, que se concibieron utilizando el CSCR-86, el CSCR-02 y el borrador del CSCR-10, pero en este último

caso difiere a que en este solamente se consideraban muros confinados en una relación 1:1 (muros con lados de igual dimensiones).

Este trabajo se basó en tres trabajos finales de graduación, sobre el modelado a escala reducida de muros de mampostería, que aportan información valiosa. Estos se realizaron utilizando el código vigente que era el CSCR- 86 y el capítulo 9 del CSCR-10, y sirven de base con información sobre el modelado a escala reducida y el proceso constructivo de los modelos de los muros de mampostería confinada e integral.

- Modelado a escala reducida de muros de mampostería sometidas a flexión, realizado por Giancarlo Feoli Soto. Los muros se construyeron utilizando una relación del alto/largo de 2.
- Mezclas de Microconcreto para modelos estructurales por Edwin Espinoza Blanco. Esta es de gran importancia ya que es el primer proyecto en efectuar la dosificación de los diferentes microconcretos, con los requerimientos de resistencia para modelos estructurales a escala reducida.
- Comportamiento estructural de muros de mampostería confinada en escala reducida con ductilidad local óptima por Alejandra Sáenz García. Este trabajo es de gran importancia porque proporcionó parámetros de comparación en cuanto a muros confinados, y además utilizar los mismos requisitos y recomendaciones con las que se desarrolló este trabajo, por lo que sirvió de guía para la modelación.

Ubico D., 2005, desarrolló su proyecto de graduación en el Comportamiento carga-desplazamiento en muros de mampostería integral a escala reducida con diferentes tipos de confinamiento en los extremos, utilizó en sus diseños el CSCR-2002. La diferencia con esta investigación es que solamente se estudian muros de mampostería integral y no muros de mampostería confinada, sin embargo servirá de parámetro de comparación para los muros de mampostería integral.

Castro R., 2005, realizó el proyecto de Optimización del proceso de mezcla y fabricación de bloques de mampostería en escala reducida, para modelos a escala con un factor de $\frac{1}{4}$ y de $\frac{1}{6}$, utilizando el CSCR-02. Este trabajo fue de gran ayuda pues se utilizó como guía para la fabricación de los bloques de mampostería en escala reducida (factor $\frac{1}{6}$). Brinda información sobre los materiales a utilizar, el procedimiento a seguir y el tiempo que se tarda en realizar los bloques de concreto. La fabricación de los bloques de mampostería a escala es un proceso lento, por lo que es importante contar con un documento como el elaborado por Castro R, 2005.

1.3 Objetivo General

Comparar experimentalmente el comportamiento de muros de mampostería confinada e integral sometidos a una carga puntual monotonica creciente a escala reducida ($1/6$), diseñados para ductilidad local óptima según el borrador de CSCR-10.

1.4 Objetivos Específicos

- Diseñar dos muros de mampostería confinada y dos muros de mampostería integral, cumpliendo con los requisitos del capítulo 9 del borrador del CSCR-10.
- Evaluar el comportamiento de los muros de mampostería confinada e integral, sometida a un proceso de aumento de carga monotonica lateral, hasta producir la falla.
- Calcular la ductilidad de los muros para probar que cumplen con los requisitos del CSCR-02.
- Determinar si predomina la falla por flexión de los modelos, con las observaciones realizadas durante el proceso de falla.
- Comparar los resultados del análisis teórico con los requisitos para el diseño de muros de mampostería confinada e integral del capítulo 9 del borrador del CSCR-10, y entre los dos tipos de muros.

1.5 Alcances

- Se estudió experimentalmente el comportamiento a flexión, cortante y la ductilidad local óptima, para lo cual se fabricaron dos muros confinados y dos muros integrales en mampostería a escala reducida, utilizando un factor de 1/6.
- La carga con la que se fallaron los muros es una carga puntual, monotónica y creciente, aplicada a nivel de la viga corona.
- No se incluyó la aplicación de carga axial a los muros de mampostería.
- Se efectuaron las mediciones en la falla de los muros de mampostería confinada e integral, con la utilización de deformímetros.

1.6 Limitaciones

- El número de los muros que se ensayaron se limitó a dos por tipo de mampostería por el tiempo que se requiere para fabricar los bloques a escala reducida y construir los muros.
- Los bloques de mampostería en escala reducida (factor 1/6), se fabricaron siguiendo el procedimiento descrito por Castro R., 2005, y Espinoza E., 1991, en sus trabajos finales de graduación.
- Se limitó la producción de los bloques de concreto por la cantidad de moldes que dispone el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR).
- Se utilizó para la fabricación de los bloques solamente moldes de 20cm X 20cm X 40cm a escala natural, correspondientes en escala reducida a bloques de 3,33 cm x 3,33 cm x 6,67 cm, que se encuentran en LanammeUCR. Además de seguir con la línea de escala de proyectos anteriores y no dificultar el montaje y la falla al disminuir la escala.

CAPÍTULO 2

MATERIALES

2.1 Generalidades

Los muros se elaboraron a escala $1/6$, tratando de obtener resultados representativos a una investigación a escala natural, es importante resaltar que por tratarse de un modelaje estructural directo, solo se aplica el factor de reducción a la geometría del diseño, esto quiere decir que los materiales deben de cumplir con las relaciones constitutivas de los materiales utilizados a escala natural, y además se debe de satisfacer el cumplimiento de la normativa requerida de cada uno de los ensayos, y pruebas que se realizarán a los materiales.

En el anexo A se presenta el ensayo de los materiales (arena, cemento, alambre galvanizado) y pruebas de laboratorio realizados, por lo que este capítulo se basó en la compilación de estos y en una recopilación de lo desarrollado para la obtención de los componentes estructurales (unidades de mampostería, microconcretos, mortero y prismas de mampostería).

2.2 Arena

Para esta investigación se utilizó arena de río de Guápiles, esta es la utilizada para la elaboración de los microconcretos, del mortero de pega y de los bloques. El agregado fino tanto en escala natural como reducida, debe de cumplir con los requisitos del análisis granulométrico, pruebas de absorción, determinación de impurezas en el material, entre otras, esto para garantizar su calidad y funcionamiento requerido.

Para caracterizarlo dependiendo del uso que tenga, se debe de obtener los tamaños máximos del agregado. En el Cuadro 1 se presentan los tamaños máximos utilizados en la elaboración de los microconcretos, mortero de pega y los bloques.

Cuadro 1. Tamaño máximo de la arena

Mezcla	Tamaño máximo del agregado (mm)	Número de malla
Mortero de pega	0,60	30
Microconcreto para los bloques	1,18	16
Microconcreto de relleno	2,36	8
Microconcreto para la fundación, columnas y corona.	4,75	4

Fuente. Sáenz, 2009.

Esta arena de río de Guápiles ya ha sido caracterizada en trabajos anteriores como lo fue el de Sáenz A., 2009, para ambos casos esta cumplió con las normas ASTM C136-06, ASTM C33-03, ASTM C128-07 y ASTM C40-04 las cuales se presentan a continuación.

2.2.1 Análisis granulométrico de un agregado (ASTM C136-06)

Este ensayo permite conocer la distribución de tamaños del agregado permitiendo de este modo saber si cumple con las especificaciones que establece esta norma. En el anexo A se presentan todos los ensayos realizados a los materiales, así como los resultados de todas las pruebas practicados a la arena, por lo que se representa el cumplimiento de la norma ASTM C33-08 en el Cuadro 2 y en la Figura 1 en las cuales se muestran la distribución granulométrica.

Cuadro 2. Distribución Granulométrica

Malla	% Retenido Acumulado	% Pasando	Requisito ASTM C33		Resultado
#4	0,35	100	95	100	Cumple
#8	20,54	79	80	100	No cumple*
#16	25,07	54	50	85	Cumple
#30	22,57	31	25	60	Cumple
#50	17,44	14,	5	30	Cumple
#100	9,38	5	0	10	Cumple
Charola	4,65	0	-	-	-

*Este resultado como se dispone en el cuadro no cumple con la norma ASTM C33-03, pero se considera que no es significativo ya que el porcentaje de diferencia en este es de un 1 %, y los demás parámetros se encuentran en el rango, por lo que se considera irrelevante.

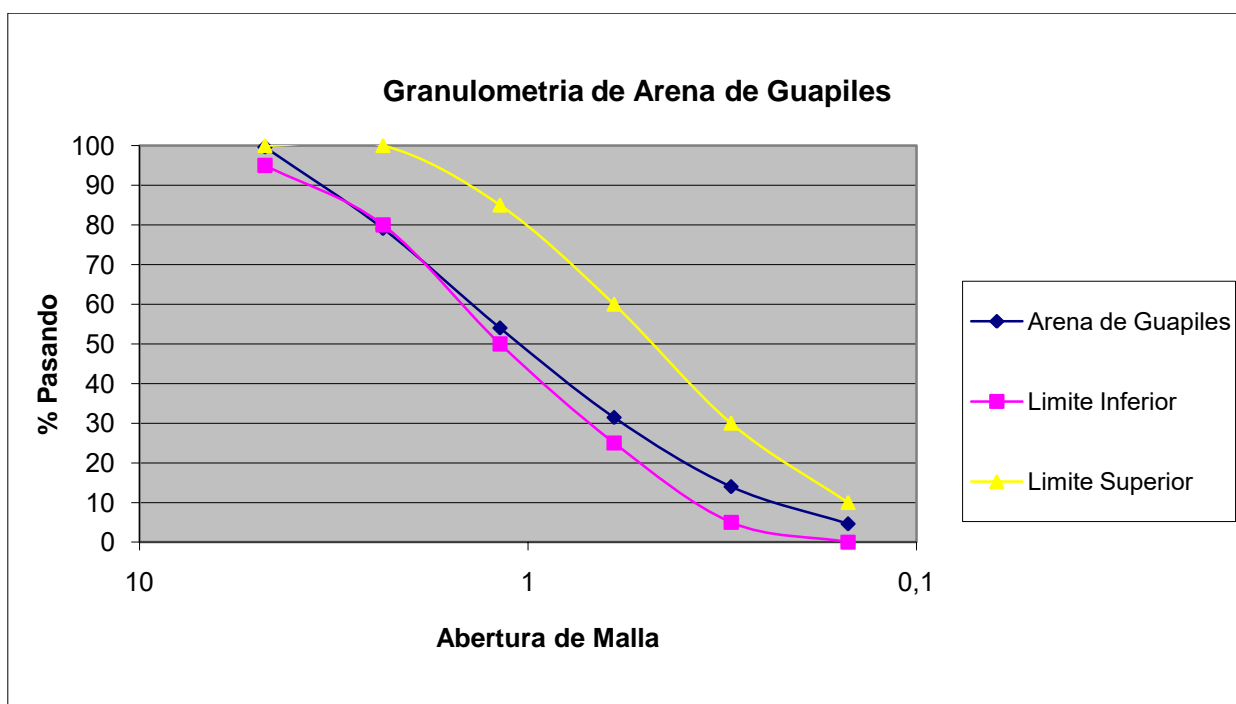


Figura 1. Granulometría de la arena

2.2.2 Peso específico y absorción de agregados finos (ASTM C128-07)

Este ensayo permite conocer las propiedades del agregado que se requieren para el diseño de los diferentes microconcretos, el mortero de pega y bloques de mampostería. En el anexo A se muestran los resultados de estas pruebas practicados a la arena.

Cuadro 3. Peso específico y absorción del agregado fino

Datos obtenidos de la prueba	
Peso específico del agregado	2,52
Absorción del agregado (%)	3,6

2.2.3 Impurezas orgánicas en agregados finos para concreto (ASTM C40-04)

En el anexo A se muestra el procedimiento que se sigue en este ensayo para la satisfacción de la norma. Se concluye en esta que el agregado no contiene impurezas orgánicas que superen las 500 partes por millón.

2.3 Cemento

El cemento utilizado en la fabricación de los bloques, microconcretos y el mortero de pega es Cemento de Holcim de Costa Rica de uso General (UG). Según el Reglamento técnico RTCR 383-04.

En el anexo A se presentan las pruebas ASTM requeridas para la caracterización del cemento a utilizar.

Cuadro 4. Peso específico del cemento

Dato obtenido de la prueba	
Peso específico del cemento	2,97

2.4 Acero de refuerzo

Para el modelaje a escala reducida del refuerzo de acero se utilizó la investigación realizada por Espinoza E.,1991, en esta se concluyó que el acero más adecuado en la modelación de los muros es la utilización de alambre galvanizado #16, el cual modelará la varilla #3 y el alambre galvanizado #12 que modelará la varilla #5.

El alambre galvanizado es liso por lo que se debe de someter a un proceso de corrugación para que se garantice una correcta modelación a la varilla de refuerzo. Este proceso es indispensable ya que el objetivo en el corrugado de varillas es proporcionar una mayor adherencia entre esta y el concreto.

En la Figura 2 se muestra la máquina corrugadora que se utilizó en este proceso.



Figura 2. Máquina Corrugadora

Se debe de verificar que los diámetros del alambre galvanizado que se utilizó después de ser corrugados representen la menor diferencia con los requeridos, esto se muestra en el Cuadro 5. En el anexo A se encuentra el procedimiento que se siguió para obtener el diámetro del alambre corrugado, esto con la densidad de varias muestras del alambre utilizado.

Cuadro 5. Diámetros de acero

Varilla	Diámetro requerido real (mm)	Diámetro requerido a un factor $1/6$ (mm)	Diámetro del alambre corrugado (mm)	Porcentaje de error
#3	9,5	1,58	1,58	0 %
#5	15,9	2,65	2,69	1,49 %

Al alambre galvanizado se le deben de realizar varias pruebas de tensión para verificar el cumplimiento del módulo de elasticidad, el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo de falla. Se realizó las pruebas a 3 muestras del alambre #12 e igualmente 3 muestras del alambre #16, estas se realizaron en la máquina de ensayos mostrada en la Figura 3. Y en la Figura 4 se muestra el montaje del alambre #12.

**Figura 3.** Máquina de ensayos. MTS

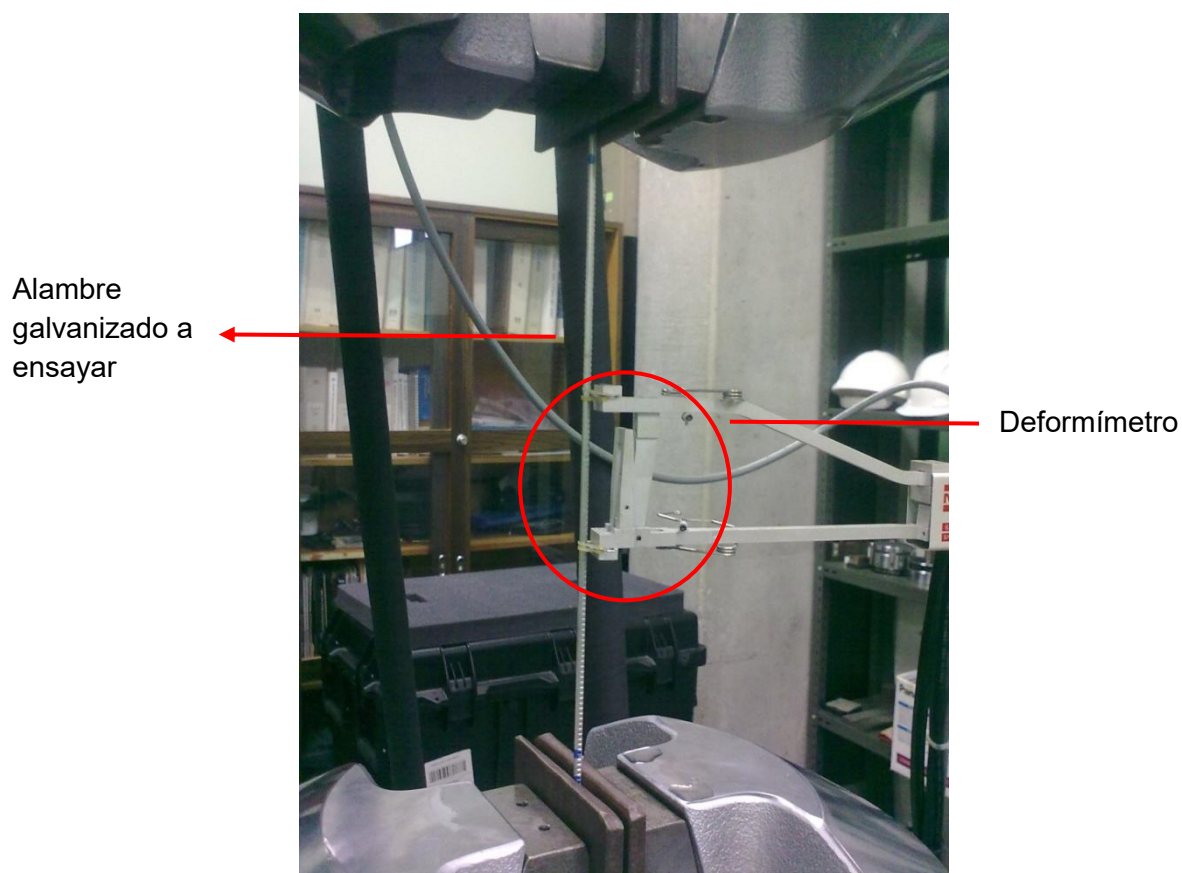


Figura 4. Montaje del alambre galvanizado #12

En el Cuadro 6 se presentan los promedios de los resultados obtenidos de la falla de las muestras para cada tipo de alambre galvanizado, además se especifica también el grado que le corresponde a cada uno.

Cuadro 6. Propiedades del acero

Número de la varilla prototipo	Número del alambre galvanizado	Esfuerzo de fluencia f_y (Kg/cm ²)	Esfuerzo de falla (Kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad E (kg/cm ²)	Grado
#3	#16	5250	5491	2,00,E+06	60
#5	#12	6050	6455	2,00,E+06	60

Se presentan además los gráficos del comportamiento de un espécimen de alambre galvanizado #16 en la Figura 5, y de un espécimen de alambre galvanizado #12 en la Figura 7, ya que se obtuvieron líneas de tendencias muy parecidas entre las 2 muestras de cada tipo. En el anexo E se presentan los datos obtenidos de las pruebas realizadas al alambre galvanizado, en este se muestran los gráficos de comportamiento de todas las muestras ensayadas.

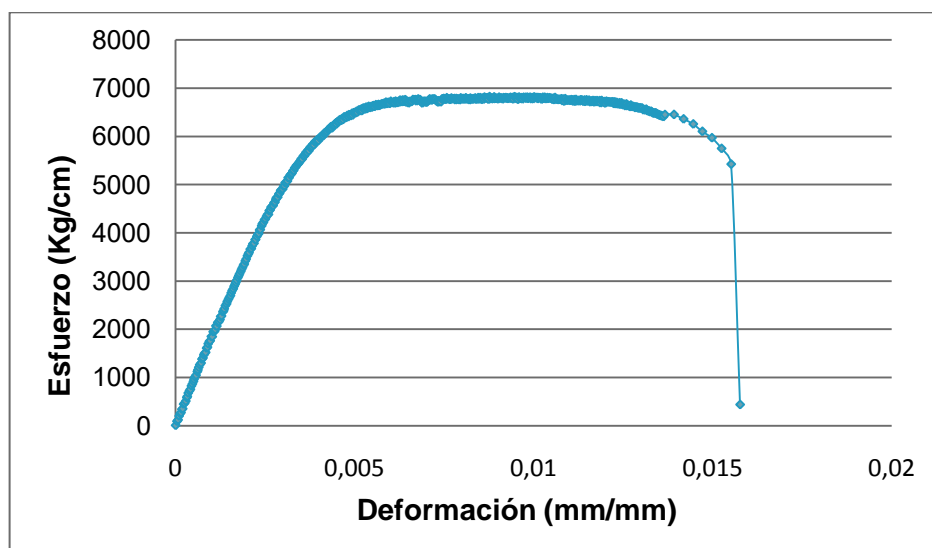


Figura 5. Gráfico de comportamiento del alambre galvanizado #12

En la Figura 6 se muestra la recta del rango elástico de la muestra. Se le aplicó un tipo de tendencia lineal para así obtener el módulo de elasticidad del alambre que corresponde a la pendiente de la ecuación del gráfico. Además se obtiene de ésta el "R", que proporciona la confiabilidad de ajuste de la tendencia con respecto a la curva, se observa en la figura 6 que este valor es del 0.9947 el cual estadísticamente se considera un buen ajuste.

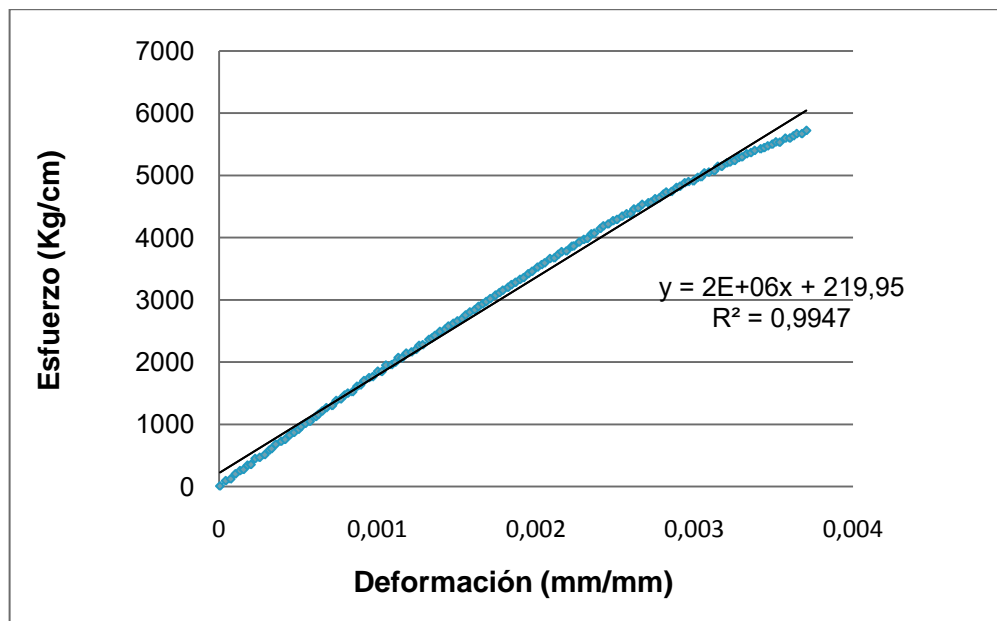


Figura 6. Recta del gráfico de comportamiento de donde se obtiene el módulo de elasticidad del alambre galvanizado #12

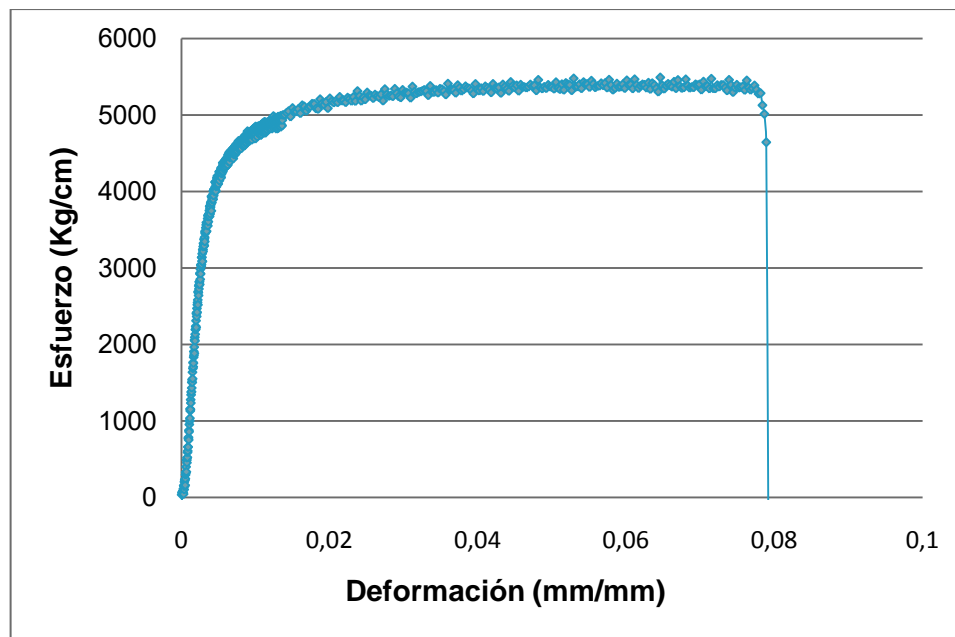


Figura 7. Gráfico de comportamiento del alambre galvanizado #16

Al igual que en el alambre galvanizado #12, en la Figura 8 se muestra la recta del rango elástico, extraída de la Figura 8. Se le aplicó un tipo de tendencia lineal para así obtener el módulo de elasticidad del alambre que corresponde a la pendiente de la ecuación del gráfico. En este caso se obtiene un valor de confiabilidad de ajuste de 0.9947 el cual estadísticamente se considera un buen ajuste.

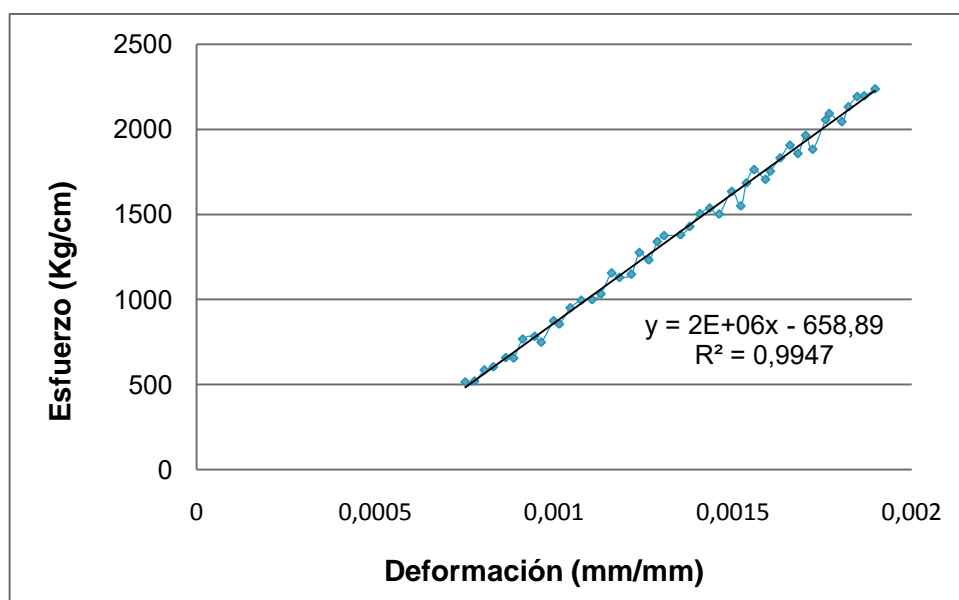


Figura 8. Recta del gráfico de comportamiento de donde se obtiene el módulo de elasticidad del alambre galvanizado #16

2.5 Unidades de mampostería

Para la fabricación de los bloques de mampostería, se requiere de la utilización de metodologías descritas en trabajos de investigación anteriores, donde se enfatizó en la obtención de procesos para la fabricación de bloques de mampostería a escala reducida. Para este caso se toma el procedimiento realizado por Castro R., 2005, así como las curvas de resistencia de bloques en escala reducida que se presentan para la escala $\frac{1}{6}$. Estas determinan el cumplimiento de la resistencia de los bloques a 7 y 14 días para un análisis de temprano de estos.

Para la fabricación de los bloques de mampostería se utilizó los 11 moldes a escala $\frac{1}{6}$ de acrílico con los que cuenta LanammeUCR, estos se muestran en la Figura 9; para la fabricación de estos se recomienda seguir con la norma del MEIC.

Los bloques se sometieron a 28 días de curado en donde permanecen este tiempo en recipientes con agua que los cubra totalmente, este proceso se puede observar en la Figura 10.

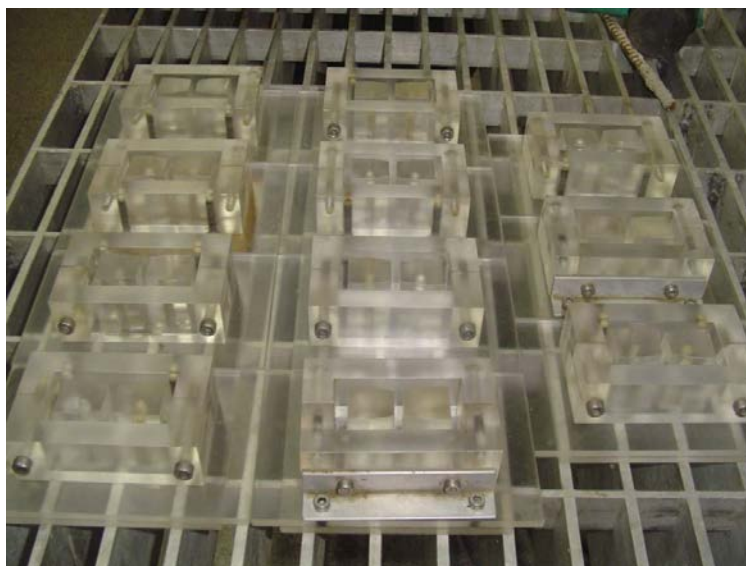


Figura 9. Moldes de bloques de mampostería a escala reducida



Figura 10. Curado de los bloques de mampostería

En el anexo B se presenta el procedimiento de diseño de los bloques de mampostería, del cual se obtiene un diseño de mezcla preliminar para los bloques de mampostería. Este se modificó ya que no cumplió con la resistencia adecuada, esto según lo especificado en el CSCR-02 en donde se menciona que para bloques huecos de concreto la resistencia a los 28 días mínima promedio debe ser de 133 Kg/cm^2 y un mínimo de resistencia para el bloque individual de 120 Kg/cm^2 .

Después de varias modificaciones y pruebas en el diseño de mezcla, se obtuvo un diseño definitivo, Cuadro 7, este cumple con lo especificado en el CSCR-02 en cuanto a su resistencia, en el Cuadro 8 se presentan los resultados de las pruebas realizadas a las unidades de mampostería, las cuales se realizaron a lo largo de toda la fabricación tomando como muestra 2 bloques en fechas aleatorias. Las resistencias que se presentan son de compresión sobre el área neta.

Cuadro 7. Dosificación para el diseño de mezcla definitivo

Cemento	Arena	Agua
1	3	0,58

Cuadro 8. Resistencia de los bloques a los 28 días de edad

Fecha de fabricación	Espécimen	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
13 de Enero	1	126	146
	2	166	
15 de Enero	1	168	151
	2	134	
2 de Febrero	1	144	136
	2	128	
9 de Febrero	1	126	130
	2	133	
Promedio Final			141

En el anexo C se presenta el cálculo para determinar el área se neta de los bloques de mampostería, tomando dos muestras de distintos días y promediándolas.

Para la falla de los bloques estos fueron correctamente coronados de acuerdo con la norma ASTM C1152-04 y fallados según la normativa ASTM C140-10. Para esto se utilizó el equipo de coronamiento que se presentan en la Figura 11 y 12.



Figura 11. Equipo de capeo



Figura 12. Espátula y nivel para capeo

En la Figura 13 se muestra unos de los bloques de mampostería en su proceso de coronamiento, y en las Figuras 14 y 15 el equipo de falla que se utilizó para obtener las resistencias.



Figura 13. Proceso de coronamiento



Figura 14. Equipo de falla. FORNEY F-50C-DFM/I



Figura 15. Equipo de falla. Controls 82-P0326/DB

En la Figura 16 se presentan dos bloques de mampostería después de su falla.



Figura 16. Bloques fallados

Se debe de obtener también bloques modulares para la fabricación del paño de mampostería, como se muestra en la Figura 17, para esto se cortó los bloques a la mitad tratando de darle una superficie lisa para que eso no signifique un error en el proceso constructivo aumentando el espesor de la sisa.



Figura 17. Bloques modulares para el paño de mampostería

2.6 Microconcreto de relleno

Para la obtención de la resistencia del microconcreto de relleno se siguen los lineamientos del Apéndice A del CSCR-02, donde se estipula que para tener una mampostería clase A se debe de utilizar un concreto de relleno clase A, el cual debe de tener una resistencia de 175 Kg/cm² a los 28 días siguiendo las pruebas conforme a la norma ASTM 1019-09.

Este proceso se inició con una dosificación propuesta por el CSCR-02 la cual indica la proporción de cemento y arena que se debe de utilizar según se observa en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Proporciones por volumen del cemento y arena en el mortero

Cemento	Arena Suelta
1	2

Se desarrollaron una serie de pruebas para determinar la proporción de agua que satisficiera la resistencia necesitada, y se obtuvo la dosificación que presenta el Cuadro 10.

Cuadro 10. Proporciones por volumen del mortero

Cemento	Arena Suelta	Agua
1	2	0,9

Las pruebas del microconcreto de relleno se desarrollaron con dados de concreto que se obtuvieron al colocar bloques de forma perpendicular y paralela entre ellos como se ilustra en la Figura 18.

**Figura 18.** Modulación de los dados de falla del microconcreto de relleno

En las Figuras 19 y 20 se muestran los dados del microconcreto de relleno despues de su falla y el equipo utilizado para realizar esta, respectivamente.

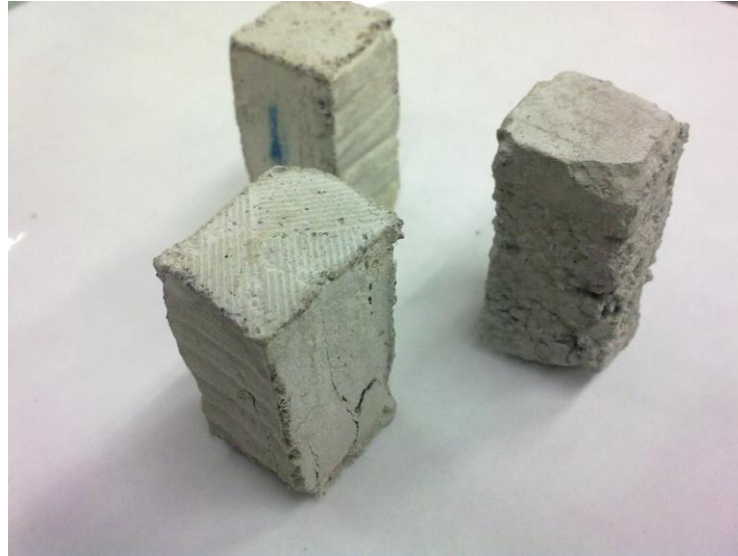


Figura 19. Dados de falla del microconcreto de relleno



Figura 20. Equipo de falla. MTS Material Test System

En el Cuadro 11 se presentan los resultados obtenidos de las fallas de los dados ensayados en el laboratorio, tomando 3 muestras fallados a los 28 días después de su respectivo proceso de curado. En el anexo C se indica el área de contacto promedio de estos dados.

Cuadro 11. Resistencia de los dados de microconcreto de relleno

Muestras	Capacidad (Kg)	Área de contacto (cm ²)	Resistencia real (Kg/cm ²)	Resistencia requerida (Kg/cm ²)
Muestra #1	596	2,77	215	175
Muestra #2	537		194	
Muestra #3	454		164	
	Promedio		191	

2.7 Mortero

Para la obtención de la resistencia del mortero se siguen los lineamientos del Apéndice A del CSCR-02, donde estipula que para tener una mampostería clase A se debe de utilizar un mortero clase A, que es equivalente a un mortero tipo M especificado en la norma ASTM C 270-10, el cual debe de tener una resistencia de 175 Kg/cm² a los 28 días.

Este proceso se inició con una dosificación propuesta por el CSCR-02, la cual indica la proporción de cemento y arena que se debe de utilizar según se observa en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Proporciones por volumen del cemento y arena en el mortero

Cemento	Arena Suelta
1	3

Se desarrollaron una serie de pruebas para determinar la proporción de agua que satisficiera la resistencia necesitada, y se obtuvo la dosificación que presenta el Cuadro 13.

Cuadro 13. Proporciones por volumen del mortero

Cemento	Arena Suelta	Agua
1	3	0,97

Las pruebas del mortero se desarrollaron con la fabricación de cubos obtenidos de moldes como se ilustra en la Figura 21 Y 22.

**Figura 21.** Cubos de falla del mortero



Figura 22. Cubos de falla del mortero

En el Cuadro 14 y 15 se presentan los resultados obtenidos de las fallas de los cubos ensayados en el laboratorio tomando 4 muestras, 2 fallados a los 7 días y los otros 2 a los 28 días después de su respectivo proceso de curado. Para los cubos fallados a 7 días se proyecta su resistencia con curvas y se aproxima que deben de cumplir con un 50 % de la resistencia requerida.

En el anexo C se indica el área neta promedio de estos cubos.

Cuadro 14. Resistencia de los cubos del mortero a los 7 días

Muestras	Capacidad (Kg)	Área Neta (cm²)	Resistencia real (Kg/cm²)	Porcentaje (%)
Muestra 1	91	1,44	63	35
Muestra 2	87		60	
Promedio			62	

Del cuadro anterior se muestra como los cubos no cumplieron con la resistencia esperada a los 7 días, para comprobar realmente su resistencia se espera a fallar los otros 2 cubos a 28 días, esperando un incremento sustancial en estos.

Cuadro 15. Resistencia de los cubos del mortero a los 28 días

Muestras	Capacidad (Kg)	Área Neta (cm ²)	Resistencia real (Kg/cm ²)	Resistencia requerida (Kg/cm ²)
Muestra 1	310	1,44	215	175
Muestra 2	284		197	
Promedio		206		

2.8 Microconcreto para la fundación, vigas y columnas

Para el diseño de los microconcretos de relleno, así como para el moldeo de los cilindros de prueba se siguieron los procedimientos descritos por Espinoza E., 1991.

En cuanto a las resistencias de diseño para las diferentes mezclas de microconcreto a los 28 días de edad, se siguen las especificadas hechas por Sáenz A., 2009, las cuales se muestran en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Resistencia de los microconcretos a los 28 días

Mezcla de Microconcreto	Resistencia de diseño (Kg/cm ²)
Viga de Fundación	450
Columnas	210
Viga Corona	400

Para la obtención de estas resistencias se fabrican consecutivas muestras cilíndricas, obtenidas con moldes como se ilustran en la Figura 23. Como se indico anteriormente las mismas deben ser correctamente curadas por 28 días y capeadas como se realizó con las muestras de falla de los distintos microconcretos.

En la Figura 24 y 25 se muestran algunos cilindros en su proceso de curado y después de la falla respectivamente.

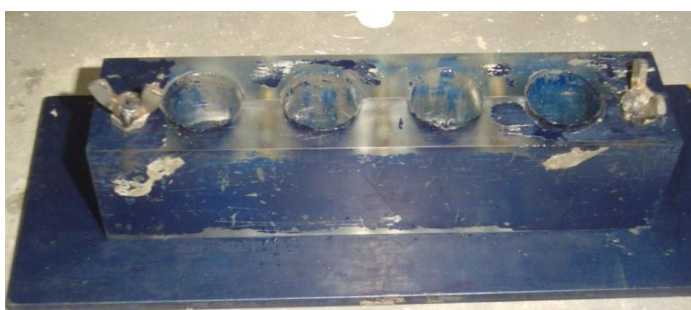


Figura 23. Molde de las muestras cilíndricas del microconcreto de relleno



Figura 24. Cilindros de microconcreto de curado



Figura 25. Muestras cilíndricas en su proceso después de la falla

Los resultados obtenidos de estas fallas se muestran en el Cuadro 17, los cuales cumplen con los requisitos de resistencia de cada uno de los microconcretos de relleno.

En el anexo C se indica el área neta promedio de estos cilindros.

Cuadro 17. Resistencias obtenidas de las fallas de cilindros

Microconcreto	Espécimen	Carga real (kg)	Área neta	Resistencia real (kg/cm ²)
Viga de Fundación	1	2540	5,39	471
	2	3243		602
	3	3243		602
	4	2957		549
	Promedio Final			556
Columnas	1	2254	5,39	418
	2	1547		287
	3	1923		357
	4	1606		298
	Promedio Final			340
Viga Corona	1	2540	5,39	471
	2	3243		602
	3	3243		602
	4	2957		549
	Promedio Final			556

2.9 Prismas de mampostería

Para la obtención de la resistencia a compresión de la mampostería se siguen los lineamientos del Apéndice A del CSCR-02, donde estipula que para tener una mampostería clase A se debe de utilizar una resistencia a compresión mínima de 100 Kg/cm² a los 28 días sobre el área neta. Los prismas deben ser ensayados según la norma ASTM C1314-10.

Para corroborar que se cumpla con la resistencia requerida se realizaron los ensayos de prismas. En cuanto a los muros integrales los paños de mampostería son totalmente rellenos, por lo que se fabricaron solamente prismas rellenos, en el caso de los muros confinados el paño de mampostería es parcialmente relleno por que se realizaron los ensayos de prismas rellenos y vacíos.

Simultáneamente en que se desarrolla la elaboración de los paños de mampostería se realizan 2 prismas por tipo esto para cada paño. Estos prismas deben ser correctamente curados durante 28 días y coronados antes de ser fallados.

En el Cuadro 18 se presentan los resultados obtenidos de las fallas de las muestras.

Cuadro 18. Resistencias obtenidas de las fallas de los prismas

Muro	Muestra	Resistencia de Prismas rellenos (kg/cm²)	Resistencia de Prismas vacíos (kg/cm²)
Confinado 1	1	125	122
	2	138	116
Promedio		132	119
Confinado 2	1	70	69
	2	130	83
Promedio		100	76
Integral 1	1	168	No aplica
	2	224	No aplica
Promedio		196	No aplica
Integral 2	1	221	No aplica
	2	174	No aplica
Promedio		198	No aplica
Promedio Total		157	98

En la Figura 26 y 27 se ilustra la modelación que se utilizó para fabricar tanto los prismas rellenos como vacíos.



Figura 26. Prismas de mampostería rellenos



Figura 27. Prismas de mampostería vacíos

2.10 Elaboración de aros de confinamiento para los muros integrales

Los muros integrales deben incluir en su paño de mampostería aros de confinamiento dentro de las celdas de los bloques, para que cumplan así con los requerimientos de confinamiento de muros del capítulo 9 del borrador del CSCR-10.

En esta sección se estipula que los muros integrales deben de poseer placas, aros u otro sistema de confinamiento para que se puedan considerar como elementos con ductilidad local óptima. Por las dimensiones a escala reducida que debían de cumplir las placas se decide utilizar aros de confinamiento, los cuales irán colocados en las 3 primeras celdas de ambos lados del muro, es decir, que cubran una luz de 60 cm a escala natural. Este dato así como el diámetro de alambre que se utilizó para la elaboración de estos aros se encuentra en el anexo F.

Se fabricaron aros con alambre galvanizado #16 que corresponde a varilla #3, como se muestra en el análisis con este alambre se da el cumplimiento del área requerida, por lo que la dimensión del diámetro del aro se decide por comodidad a la hora de la colocación de estos dentro del refuerzo vertical.

Estos aros deben de tener una longitud de empalme a ambos extremos el cual se escoge con criterio, y se le asigna aproximadamente un cuarto de su circunferencia total, dando como resultado vuelta y media. En la Figura 28 y 29 se ilustran los aros obtenidos.



Figura 28. Aros de confinamiento



Figura 29. Aros de confinamiento terminados

CAPÍTULO 3

MODELOS ESTRUCTURALES Y MONTAJE EXPERIMENTAL

3.1 Generalidades

Se utilizó un modelado directo el cual requiere de analogía compleja con el prototipo, ya que se debe de garantizar que las relaciones constitutivas de los materiales y procesos constructivos entre el prototipo y el modelo sean similares. Esto se logró aplicando el factor de escala a la geometría de los elementos, lo cual facilitó notablemente el análisis del comportamiento estructural.

En este capítulo se muestra el detalle estructural así como las diferentes etapas del proceso constructivo, como es la elaboración de las armaduras, encofrados, la colada de las fundaciones, la pega de bloques, el curado, paños de mampostería, colada del marco en el caso de los muros confinados, entre otros aspectos referidos a cada modelo.

Es importante resaltar que en el modelado a escala reducida se necesita mayor precisión para las medidas a la hora de la confección y cuidados rigurosos en la manipulación y fabricación en cada etapa de los muros.

3.2 Factor de escala

El factor de escala que se utilizó fue de $1/6$, básicamente para mantener la misma línea de investigación de proyectos de graduación pasados como es el de Sáenz A., 2009, y Feoli G., 1996. Además de que este factor facilita la construcción y el modelaje de la falla, ya que LanammeUCR no cuenta con el equipo necesario para incrementar el factor de escala.

3.3 Geometría de los modelos

En la investigación se analizaron tanto muros confinados como integrales, sin embargo el proceso constructivo es básicamente el mismo, a excepción que los muros confinados cuentan con columnas como elementos estructurales.

Para la demostración de la geometría de los dos diferentes muros, se desarrolló de forma independiente cada uno.

3.3.1 Muros Confinados

El muro de mampostería confinada con marcos de concreto de 3,2 m de altura y 1,6 m de longitud. Elaborado con mampostería clase A con un f'_m de 100 kg/cm².

Para el refuerzo de acero se cuenta con dos tipos de varillas, #3 y #5 las dos de grado 60 ($f_y=4200$ kg/cm²) y como se mencionó en el Capítulo 2, este alambre galvanizado paso por un proceso de corrugación para modelar de manera más efectiva el acero a escala natural.

En el Cuadro 19 se muestran las dimensiones de los elementos que conforman los muros confinados.

Cuadro 19. Dimensiones a escala natural de los elementos

Elemento	Dimensiones a escala natural (altura x largo x espesor)
Bloque de mampostería	20 cm x 40 cm x 20 cm
Paño de mampostería	280 cm x 160 cm x 20 cm
Viga Fundación	80 cm x 220 cm x 40 cm
Columnas	320 cm x 290 cm x 20 cm
Viga corona	40 cm x 160 cm x 20 cm

En el Cuadro 20 se muestran las cantidades de refuerzo de acero para cada uno de los elementos que conforman los muros confinados.

Cuadro 20. Cantidad de refuerzo de acero en los elementos

Elemento	Refuerzo de acero
Paño de mampostería	
Acero Vertical	1 # 5 @ 60 cm
Acero Horizontal	1 # 3 @ 40 cm
Viga Fundación	
Aros	# 3 @ 10 cm
Acero Horizontal	8 # 5
Columnas	
Acero Vertical	4 # 5
Aros	# 3 @ 10 cm
Viga corona	
Aros	# 3 @ 10 cm
Acero Horizontal	4 # 5

En el anexo C se desarrolló el diseño del muro prototipo, los cuales cumplen con las especificaciones para ductilidad local óptima del capítulo 9 en la sección de muros de mampostería confinada del borrador del CSCR-10.

Se construyeron dos muros los cuales cumplen con todos los requisitos de diseño anteriormente establecidos, y se espera que sean representativos para poder evaluar la ductilidad óptima en el comportamiento sísmico y poder realizar una comparación con los muros integrales, los cuales se diseñan para una resistencia relativamente similar.

En la Figura 30 se muestra la representación gráfica de los muros confinados estos a escala reducida, con algunos cortes para visualizar de una manera más efectiva la separación tanto del acero vertical como del horizontal, y el anclaje del mismo a la fundación y el marco confinante.

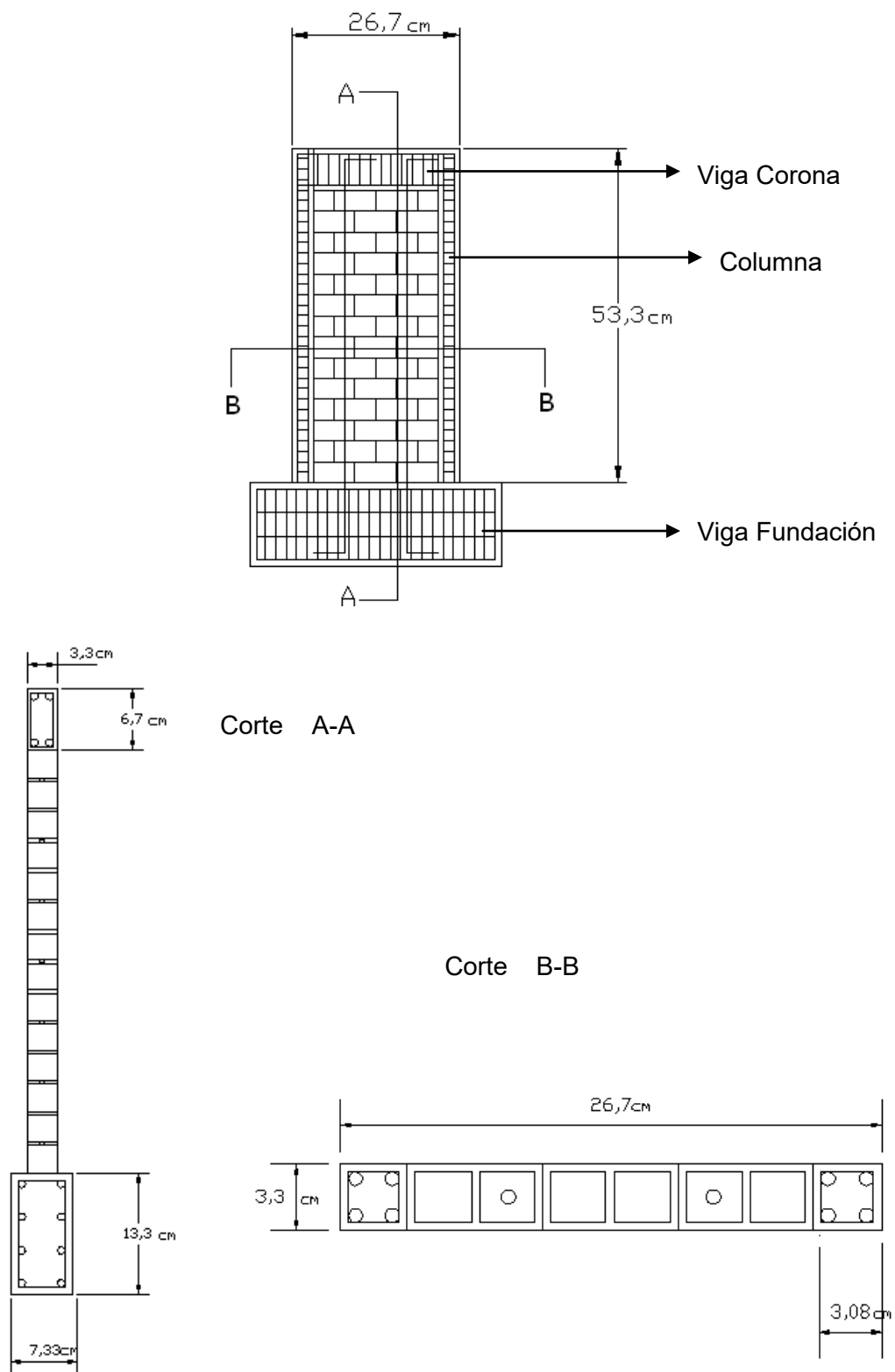


Figura 30. Representación gráfica de los muros confinados (sin escala).

3.3.2 Muros Integrales

El muro de mampostería integral es de 3,2 m de altura y 1,6 m de longitud. Elaborado con mampostería clase A con un f'_m de 100 kg/cm².

Para el refuerzo de acero se cuenta con dos tipos de varillas, #3 y #5 las dos de grado 60 ($f_y=4200$ kg/cm²) y como se mencionó en el Capítulo 2, el alambre galvanizado pasó por un proceso de corrugación para modelar de manera más efectiva el acero a escala natural.

En el Cuadro 21 se muestran las dimensiones de los elementos que conforman los muros integrales.

Cuadro 21. Dimensiones a escala natural de los elementos

Elemento	Dimensiones a escala natural (altura x largo x espesor)
Bloque de mampostería	20 cm x 40 cm x 20 cm
Paño de mampostería	280 cm x 160 cm x 20 cm
Viga Fundación	80 cm x 220 cm x 40 cm
Viga corona	40 cm x 160 cm x 20 cm

En el Cuadro 22 se muestran las cantidades de refuerzo de acero para cada uno de los elementos que conforman los muros confinados.

Cuadro 22. Cantidad de refuerzo de acero en los elementos

Elemento	Refuerzo de acero
Paño de mampostería	
Acero Vertical	1 # 5 @ 20 cm
Acero Horizontal	1 # 3 @ 20 cm
Viga Fundación	
Aros	# 3 @10 cm
Acero Horizontal	8 # 5
Viga corona	
Aros	# 3 @ 10 cm
Acero Horizontal	4 # 5

En el anexo C se desarrolló el diseño del muro prototipo, los cuales cumplen con las especificaciones para ductilidad local óptima del capítulo 9 en la sección de muros de mampostería integral del borrador del CSCR-10.

Se construyeron dos muros los cuales cumplen con todos los requisitos de diseño anteriormente establecidos, y se espera que sean representativos para poder evaluar la ductilidad óptima en el comportamiento sísmico y poder realizar una comparación con los muros confinados, los cuales se diseñan para una resistencia relativamente similar.

En la Figura 31 se muestra la representación gráfica de los muros integrales estos a escala reducida, con algunos cortes para visualizar de una manera más efectiva la separación tanto del acero vertical como del horizontal y la conexión o anclaje del mismo a la viga de fundación y a la corona.

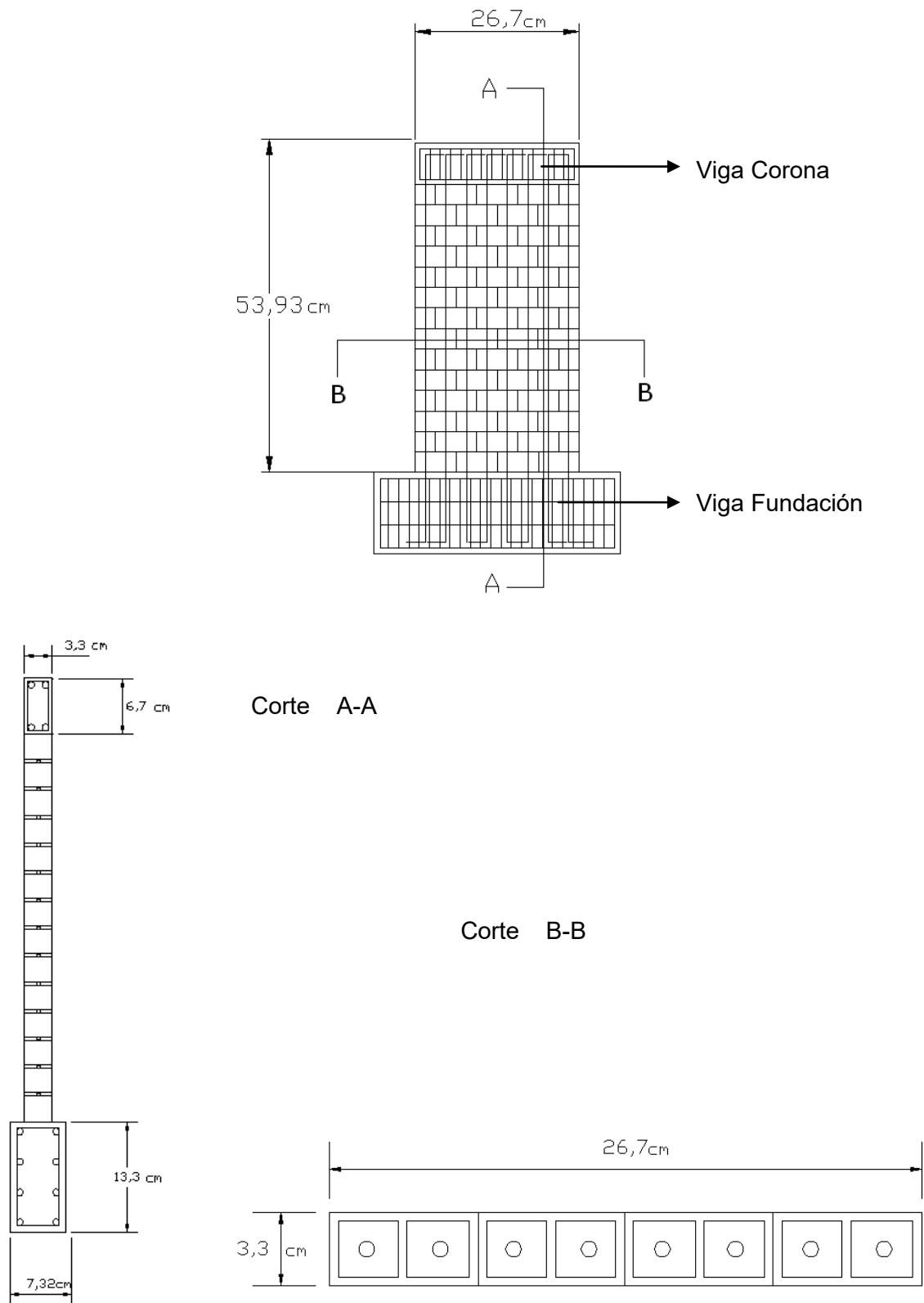


Figura 31. Representación gráfica de los muros integrales (sin escala).

3.4 Resistencia

Para evaluar los resultados experimentales se comparó con los análisis teóricos de cada tipo de elemento que va a integrar el muro. Por lo que se hace necesario conocer la resistencia del mortero de pega, microconcretos y prisma de mampostería, para aplicar dichos valores en la determinación de la resistencia del modelo, así comprender de mejor manera la respuesta que tienen los muros y el marco de concreto en el caso de los muros confinados ante la falla.

Todos estos elementos fueron diseñados y repetidamente corroborados para que cumplieran con los requisitos de las resistencias del Apéndice A del CSCR-02.

En el Capítulo 2, en las características de los microconcretos y mortero de pega se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de falla que se le desarrollaron a cada uno de estos, siguiendo la normalización y procedimiento adecuado para su elaboración.

Es importante mencionar que los cimientos no intervienen dentro del análisis de los muros, sin embargo, deben mantener su integridad durante el ensayo para que no alteren el comportamiento de la mampostería. Por esta razón se decidió diseñar el microconcreto con una resistencia de 450 kg/cm^2 y reforzar las fundaciones con un porcentaje de acero mucho mayor al de las vigas y columnas en el caso de los muros confinados.

En el Cuadro 23 se muestra el resumen las resistencias obtenidas experimentalmente y las requeridas teóricamente.

Cuadro 23. Cumplimiento de las resistencias de los elementos de los muros

	Resistencia experimental (kg/cm²)	Resistencia Teórica (kg/cm²)
Microconcreto de la Viga de Fundación	556	450
Microconcreto de la Viga corona	556	450
Microconcreto de las columnas	339	210
Microconcreto de relleno	191	175
Mortero de pega	207	175
Bloques de mampostería	141	133
Prismas de mampostería	127	100

Con el cumplimiento de las resistencias de estos elementos y el diseño de los muros del anexo D se desarrolló el análisis de las cargas de falla de los muros que se presenta en el anexo E. Estas cargas son relativamente similares ya que además se desea medir el comportamiento entre ambas siendo diseñadas para que soporten una carga que no difiera a un 20 % entre ellas.

En el CSCR-02 se dispone que para una relación de altura/ancho igual o mayor a 2, se obtendrá una falla predominante por flexión en los muros a ensayar. En el Cuadro 24 se muestra la carga de falla teórica de los muros.

Cuadro 24. Carga de falla teórica por tipo de muro

	Capacidad Máxima a flexión del muro (Kg)
Muro Confinado	360
Muro Integral	303

3.5 Construcción de los modelos

El proceso constructivo como se ha venido mencionando requiere de cuidado y detalle, ya que al tratarse de muros a escala reducida la manipulación de los materiales se facilita pero al mismo tiempo se dificulta la labor constructiva, por tratarse de elementos de menores dimensiones los cuales tienen que seguir contando con el mismo detalle y resistencia que a escala natural.

3.5.1 Construcción y cura de los bloques

En el capítulo 2 en la sección 2.5 se mencionó y se dejó claro también con ilustraciones el proceso constructivo de las unidades de mampostería y del curado que estos deben de pasar durante 28 días, nada más se va a completar esta información con un resumen de los pasos a seguir en la elaboración de los bloques.

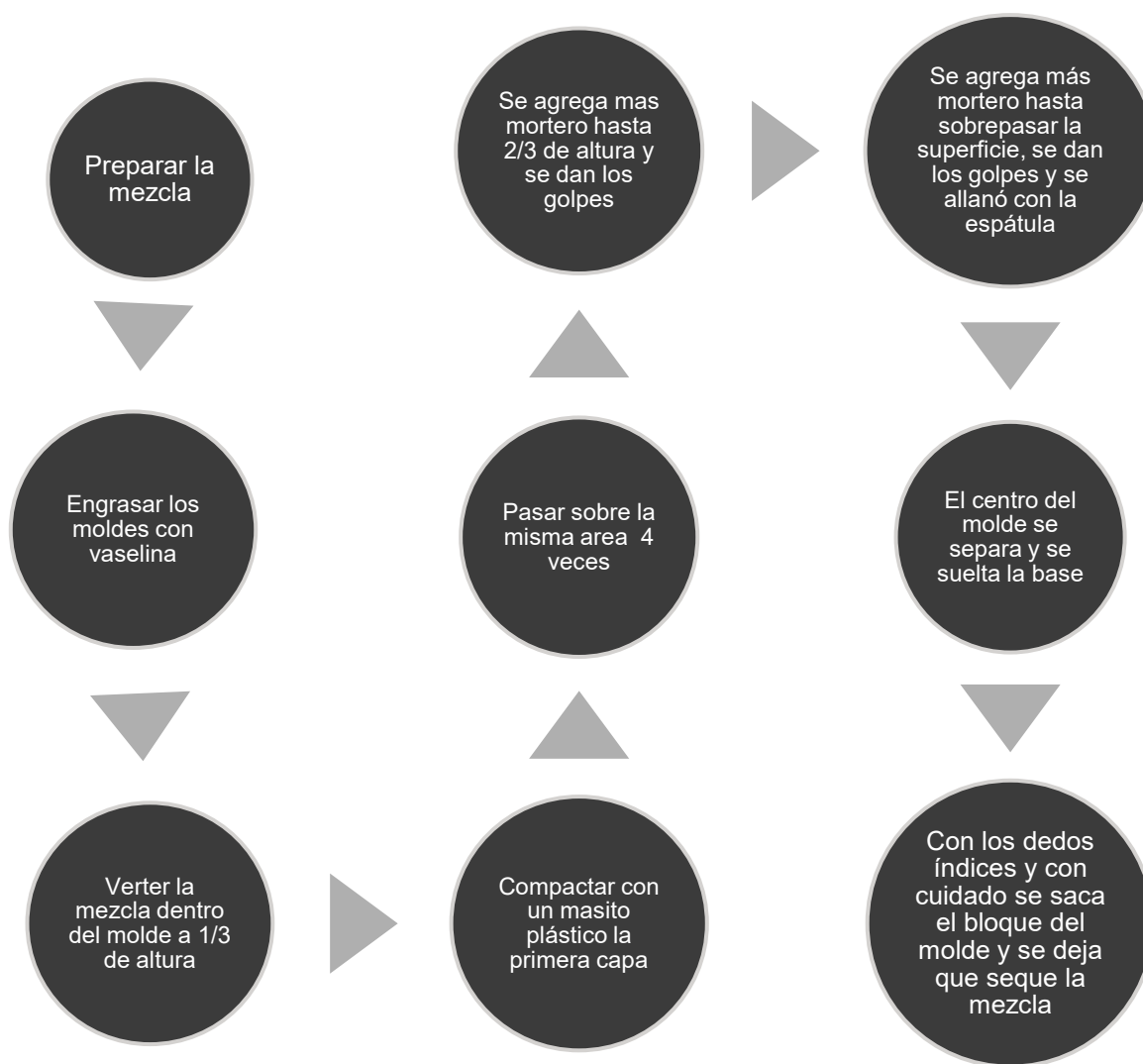


Figura 32. Procedimiento seguido en la fabricación de los bloques de mampostería.

3.5.2 Fabricación de las armaduras de la viga fundación, columnas y viga corona

Como se mencionó en el capítulo 2 en la sección 2.4 de acero de refuerzo el alambre pasa por un proceso de corrugación para obtener mayores propiedades. Para la elaboración de las armaduras teniendo las dimensiones de los elementos de los dos tipos de muros bien definidas como se ilustra en la Figura 30 y 31, se comenzó a cortar el alambre considerando

que se le va a proporcionar a los elementos de 5 a 7 cm de recubrimiento, esta longitud es aproximadamente un 42% mayor a la mínima sugerida en el borrador del CSCR-10 en el capítulo 9, con la única razón que al pasarlo a escala reducida la distancia es 0,6 cm por lo que se decidió aumentarla para que no quede expuesto y no presente problemas de adherencia. Además de considerar la distancia de recubrimiento se debe de considerar la longitud del gancho estándar para el anclaje, que igualmente se encuentra en el capítulo 9 del borrador del CSCR-10.

Una vez con el alambre cortado este se debe de aplanar y dejarlo lo más recto posible para que facilite la elaboración de las armaduras y cumpla en lo máximo con el recubrimiento.

Para desempeñar el papel del alambre negro con el cual se da el amarre del acero transversal con el longitudinal, se utilizó alambre de cobre de un calibre 10 que permitió una adecuada manipulación y soporte durante el proceso de armado.

3.5.3 Encofrado de las vigas de fundación

Para el encofrado se utilizó madera, tornillos para madera y clavos. Las tablas de madera se cortaron dejando en sus extremos aproximadamente unos 5 cm extras, esto para facilitar el proceso de desencofrado.

Se construyó primero el encofrado de la fundación la cual se realizó sobre una tabla bastante grande con la idea de que esta proporcione equilibrio a los muros, y facilite tanto la pega de bloques como la colada del marco en los muros confinados.

A este encofrado se le debe de hacer tres agujeros a lo largo de su longitud los cuales quedaran embebidos dentro del concreto de la fundación, y que se extiendan de la superficie de la formaleta aproximadamente unos 2 cm, estos van a servir para montar el muro a la mesa donde se desarrolló la falla. En la Figura 33 se muestra el encofrado de uno de los muros confinados.



Figura 33. Encofrado y colada de la viga fundación

3.5.4 Colado y cura de la viga de fundación

Se fabricó el microconcreto con la dosificación propuesta en el capítulo 2 para una resistencia de 450 kg/cm^2 , se colocó en el encofrado en pequeñas capas alternando la colocación de éstas con una pequeña vibración, para esto se utilizó un alambre con el cual se trata que el microconcreto quede distribuido en toda la superficie, y con la ayuda de un mazo de hule y pequeños golpes por fuera de la formaleta proporcionar una mejor vibración.

Después de colada la fundación por completo se dejó secando el microconcreto durante aproximadamente 24 horas. Transcurridas estas, se colocó la fundación en la cámara húmeda, con la cual cuenta LanammeUCR y se le dio un curado completo a la fundación durante toda la permanencia en esta.

Este proceso de colado se puede observar en la Figura 33 para el caso del muro confinado.

3.5.5 Fabricación y cura del paño de mampostería

Como en esta investigación se fabricaron muros confinados e integrales, se especifica que el proceso de elaboración del paño de mampostería se realizó de manera similar en lo que corresponde a la pega de bloques, pero se tiene diferencia en cuanto a la colocación del acero horizontal y de aros de confinamiento que los muros integrales incluyeron para cumplir con la ductilidad óptima.

3.5.5.1 Muros Confinados

Para la pega de los bloques, cuando se trata de la primera hilada se colocó entre la fundación y los bloques un poco de mortero de pega como se muestra en la Figura 34, esto para proporcionar adherencia entre el paño de mampostería y la fundación.

En el caso de muros confinados las columnas restringen el ancho de la sisa, ya que esta se realizó por comodidad constructiva unas tres veces más ancha de la dimensión que corresponde a la sisa en escala natural.

En la Figura 34 también se observa la colocación del acero horizontal el cual fue colocado cada 2 hiladas de bloques y el anclaje de este refuerzo a las columnas.



Figura 34. Colocación del mortero de pega y del acero horizontal

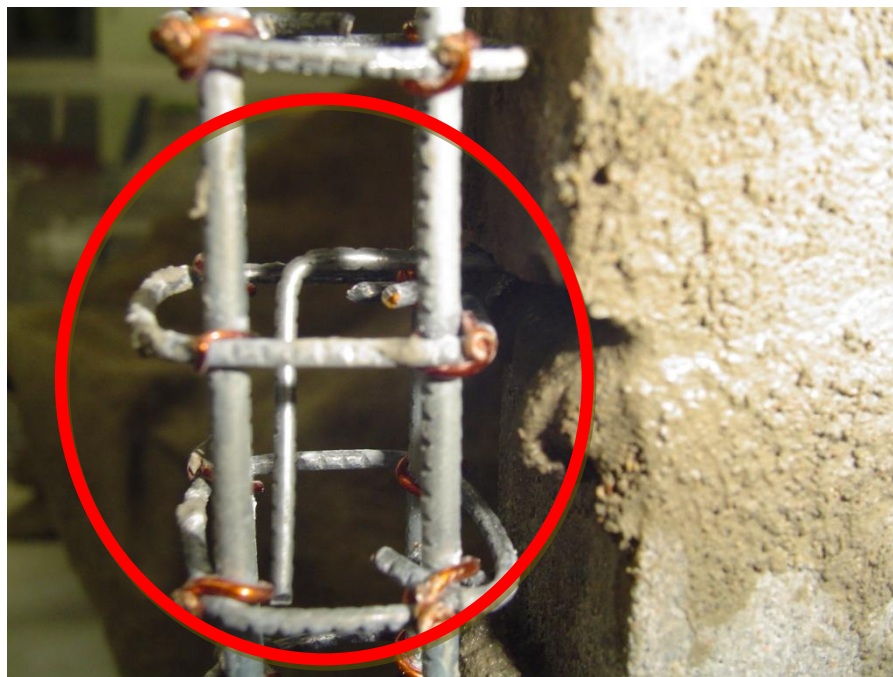


Figura 35. Anclaje del refuerzo horizontal a las columnas

En la Figura 35 se presenta el anclaje que tiene el refuerzo horizontal dentro de las columnas. La longitud de desarrollo que tiene que poseer este refuerzo dentro de ésta debe ser suficientemente grande para que desempeñe su labor como brazo de palanca y cumpla con los requisitos de ganchos del capítulo 9 del borrador del CSCR-10, aportando así mayor resistencia al paño de mampostería.

Estos muros poseen 2 varillas como refuerzo vertical las cuales van colocadas a cada 60 cm a escala natural o cada 3 celdas, como se ilustra en la Figura 34, las 2 celdas que les corresponde tener el refuerzo deben de ir rellenas con el microconcreto determinado para esta función. Por lo tanto se va a tener mampostería parcialmente rellena.

Como se ilustra en la Figura 36 el microconcreto de relleno se colocó a cada hilada hasta la mitad de la altura del bloque, esto para no dejar juntas frías en el mismo sector que el mortero de pega y esto baje su resistencia formando un plano de falla. Después de colocado se vibró con un alambre lo que permitió que el microconcreto de relleno se acomode de mejor manera dentro de las celdas.



Figura 36. Colocación del microconcreto de relleno

Se debe de corroborar, si es posible a cada hilada la buena colocación de los bloques, esto para que el paño de mampostería quede alineado. Esto evita que se den esfuerzos adicionales debido a la excentricidad del paño en el momento de la falla. Para esto se utilizó dos niveles de mano, uno en el sentido horizontal y otro en el sentido vertical, los siguientes se ilustran en las Figuras 37 y 38 correspondientemente.



Figura 37. Alineamiento Horizontal

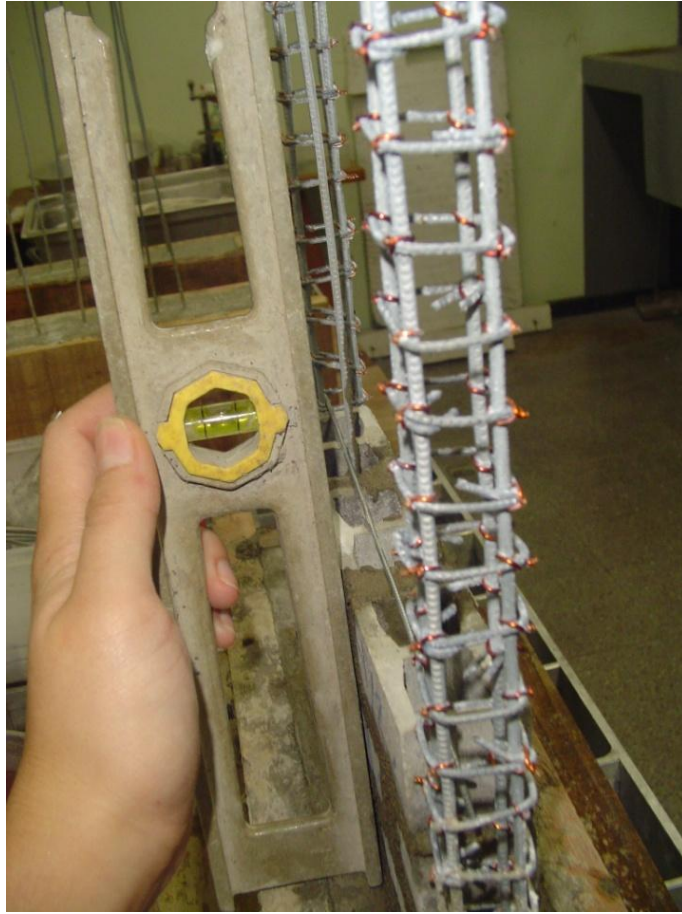


Figura 38. Alineamiento Vertical

En la Figura 39 se muestra el paño de mampostería del muro confinado finalizado, como en esta etapa todavía falta la colada del marco de concreto no es conveniente colocarlos en la cámara húmeda, por lo que el proceso de curado se cambia y se emplea la colocación del agua en aerosol, este se realizó todos los días y colocó después de humedecer los muros una bolsa de plástico para impedir el escape de agua de las muros.



Figura 39. Paño de mampostería del muro confinado

3.5.5.2 Muros Integrales

Al igual que en los muros confinados en la pega de los bloques cuando se trata de la primera hilada, se colocó entre la fundación y la primera hilada un poco de mortero de pega como se muestra en la Figura 40, esto para proporcionar adherencia entre el paño de mampostería y la fundación.



Figura 40. Pega de bloques del muro integral

En este tipo de muros como no contó con la restricción de las columnas, se debe de tener cuidado en ir proporcionando el mismo tamaño de sisa en todos los casos, para obtener un paño de mampostería uniforme.

Además en la Figura 40 también se observa la distribución del acero horizontal el cual se colocó a cada hilada de bloques.

En la Figura 41 se presenta el anclaje que tiene el refuerzo horizontal dentro del mismo paño de mampostería, en este caso para que la mayor parte de la hilada posea refuerzo horizontal el anclaje se realizó doblándolo con un gancho de 180° alrededor de las varillas del extremo. La longitud de desarrollo que tiene que poseer este refuerzo después de anclado cumple con los requisitos de ganchos del capítulo 9 del borrador del CSCR-10.



Figura 41. Anclaje del refuerzo horizontal en el muro integral

Estos muros poseen varillas como refuerzo vertical en todas sus celdas, esto según lo obtenido en el análisis del Anexo D de los muros integrales, esto se ilustra en la Figura 39. Por lo tanto se obtuvo mampostería totalmente rellena.

Como se ilustra en la Figura 41 y al igual que en los muros confinados el microconcreto de relleno se colocó a cada hilada hasta la mitad de la altura del bloque, esto para no dejar juntas frías en el mismo sector que el mortero de pega y esto baje su resistencia formando un plano de falla.

Además aprovechando que el microconcreto de relleno se encuentre a la mitad del bloque, se aprovechó a colocar los aros de confinamiento dentro de las varillas en las 3 primeras celdas de los extremos, esto se ilustra en la Figura 42.



Figura 42. Anclaje del refuerzo horizontal y colocación de los aros de confinamiento en el muro integral

Al igual que en los muros confinados se debe corroborar la buena colocación de los bloques, para esto se utiliza la metodología y los mismos niveles que los anteriores, como se ilustró en las Figuras 37 y 38.

En la Figura 43 se muestra el paño de mampostería de los muros integrales en su proceso constructivo. Una vez finalizado la pega de los bloques, el proceso de curado de estos muros sigue el mismo procedimiento de los muros confinados.



Figura 43. Anclaje del refuerzo horizontal en el muro integral

3.5.6 Encofrado de las columnas en los muros confinados

Para el encofrado de las columnas en el caso de los muros confinados, se deja en uno de sus extremos una abertura, ya que por ser las columnas tan pequeñas se realizó la colada en tres partes para lograr una mejor vibración de la mezcla de concreto, esto con la ayuda de un alambre y un mazo de hule.

Se armó el encofrado con la ayuda de sargentos para sostenerlos y proporcionar un correcto alineamiento con el paño de mampostería, asegurando que se cumpliera el recubrimiento de las columnas.

3.5.7 Colado y cura de las columnas en los muros confinados

Una vez colocado el encofrado de las columnas se inició con la colada de la primera parte, procurando vibrar de manera excesiva para evitar que se desarrollen hormigueros en la columna. Después de finalizado la colada de la parte inferior se colocó la segunda en tabla sobre ella y se realizó la segunda parte de la colada, de manera rápida para tratar de no dejar juntas frías en las columnas.

Una vez colada la segunda parte se inicia con la tercera y última sección de la columna con la misma metodología de vibrar lo suficiente. En la Figura 44 se muestra finalizado el colado de las columnas.



Figura 44. Finalizado la colada de las columnas

Cuando se finalizó el colado las columnas se esperaron 24 horas para que fraguara el concreto, después de esto se comenzó con el curado. Este se realizó de igual forma que se curaron los paños de mampostería, con la ayuda de una botella de aerosol se humedecieron y se colocó posteriormente una bolsa de plástico para impedir el escape de agua de los muros.

3.5.8 Encofrado de las vigas coronas

Para el encofrado de la viga corona se siguió el mismo procedimiento de elaboración de la formaleta de la viga de fundación.

Antes del montado de la formaleta se colocó primero la armadura de la viga corona como se ilustra en la Figura 45.

Después de la armadura se colocó la formaleta como se ilustra en las Figuras 46 y 47, además con la ayuda de sargentos se aseguró el encofrado al muro para que no se produzcan fugas de concreto.

A este encofrado se le hicieron tres agujeros a lo largo de su longitud los cuales quedaran embebidos dentro del concreto de la viga corona, y sobresalen de la superficie de esta aproximadamente de unos 2 cm, estos van a servir para el montaje de placas, la cual va a distribuir la carga que se aplicó en un extremo del muro.

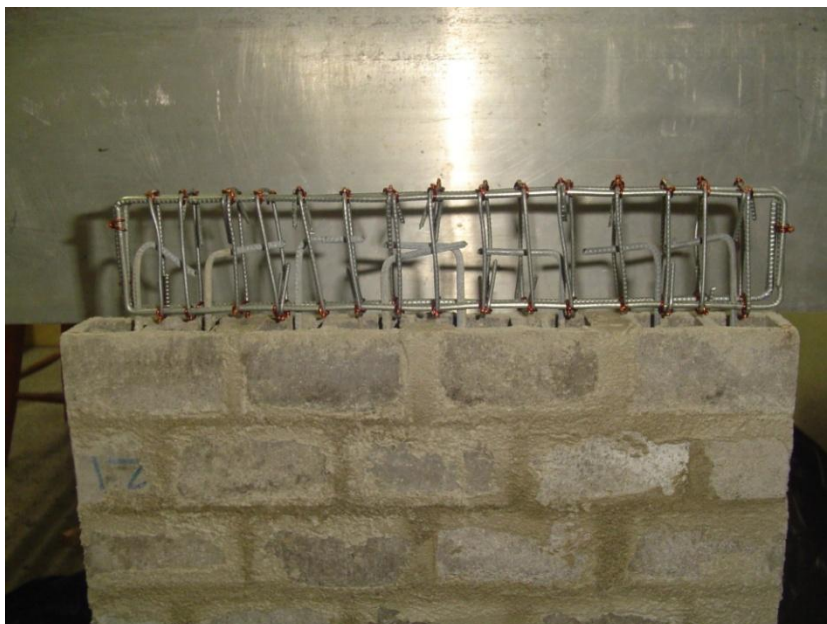


Figura 45. Armadura de la viga corona de los muros integrales



Figura 46. Encofrado de la viga corona de los muros integrales



Figura 47. Encofrado de la viga corona de los muros integrales

3.5.9 Colado y cura de la viga corona

Una vez colocado el encofrado de la viga corona y los tornillos dentro de la armadura se inicio la colada de microconcreto. Este proceso se realizó en capas para ir vibrando poco a poco y asegurarse que este quede uniformemente distribuido en todos los sectores de la corona, esto con la ayuda de un alambre y un mazo de hule. En la Figura 48 se muestra el proceso de colado de la viga corona y el alambre utilizado para el vibrado del microconcreto.



Figura 48. Proceso de colado de la viga corona

Cuando se finalizó la colado de las vigas coronas como se ilustra en la Figura 49, se dejó 24 horas para que fraguara el concreto e iniciar con el curado de estas.

El curado de las vigas coronas es el último procedimiento en la elaboración de los muros, por lo que este se desarrolló en la cámara húmeda asegurando un curado completo.



Figura 49. Colado de la viga corona en los muros confinados

3.5.10 Desencofrado

El desencofrado de las vigas coronas se realizó 24 horas después de coladas como se ilustra en la Figura 50. Después de esto se colocaron de nuevo en la cámara húmeda hasta que cumplieron los 28 días de curado.



Figura 50. Desencofrado de la viga corona de una muro integral

En la Figura 51 se muestran los muros después de cumplidos sus 28 días de curado, y se procedió a retirar el encofrado de la formaleta de la viga de fundación, como se ilustra en la Figura 52.



Figura 51. Muros curados 28 días.



Figura 52. Muros después de su proceso de desencofrado.

Como se ilustra en la Figura 53, a los cuatro muros se les aplicó dos capas de pintura blanca, para así apreciar de mejor manera las grietas que se forman durante el proceso de falla.



Figura 53. Muro integral pintado

3.6 Montaje Experimental

Para el montaje del muro a ensayar, se colocó primero a éste las placas superiores que van enroscadas a los tornillos que se encuentran en la viga corona. Como se había mencionado antes, esta placa desempeña una labor de distribución de la carga que aplica el gato hidráulico en uno de los extremos. Esta se muestra en la Figura 54.

Además en la Figura 54 se muestra como se fijó el muro a la mesa de ensayos por medio de angulares, que al igual que la placa superior es enroscada a los tornillos que se encuentran en la fundación.

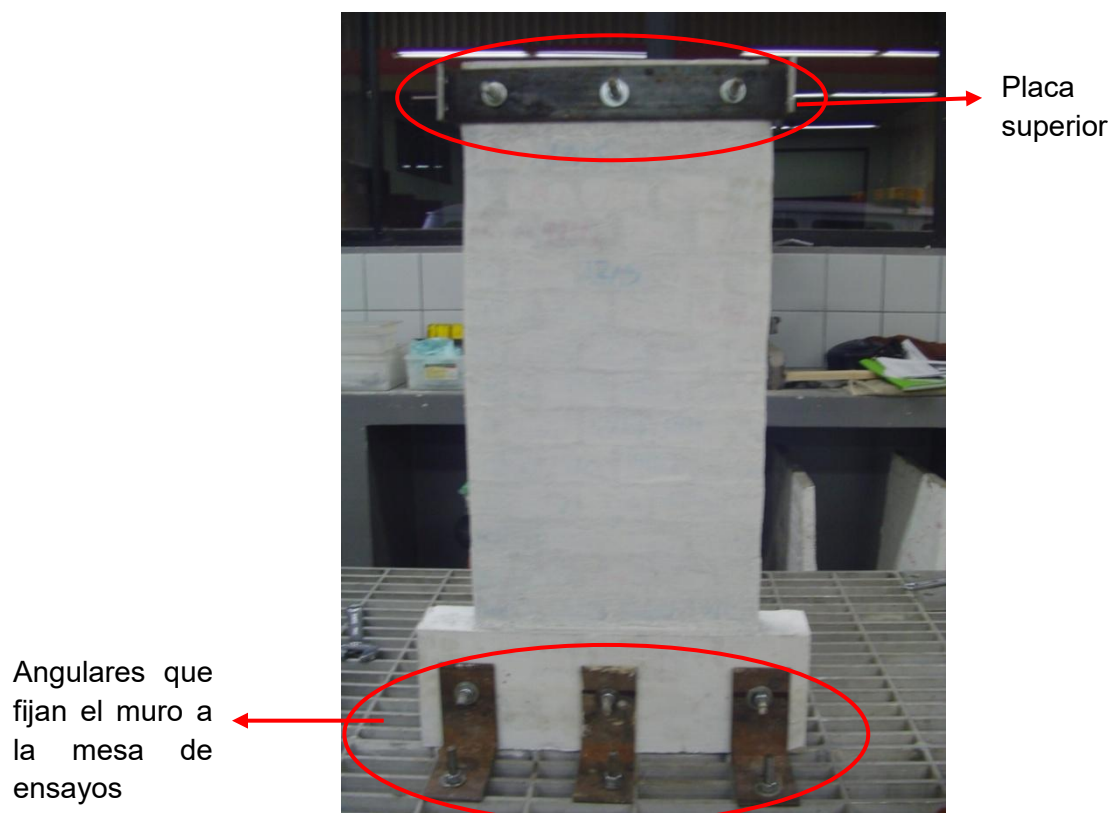


Figura 54. Procedimiento del montaje del muro a ensayar

En la mesa de ensayos también se colocó un marco de carga en el cual se instaló el gato hidráulico, como se muestra en la Figura 55; éste debe de superar la capacidad del muro a ensayar y ser suficientemente rígido, de modo que asegure que la carga aplicada al muro sea siempre horizontal.

A este gato hidráulico se le colocó en serie una celda de carga, ésta debe estar correctamente calibrada y debe de poseer una capacidad que supere al menos en un 10% de la carga máxima esperada.

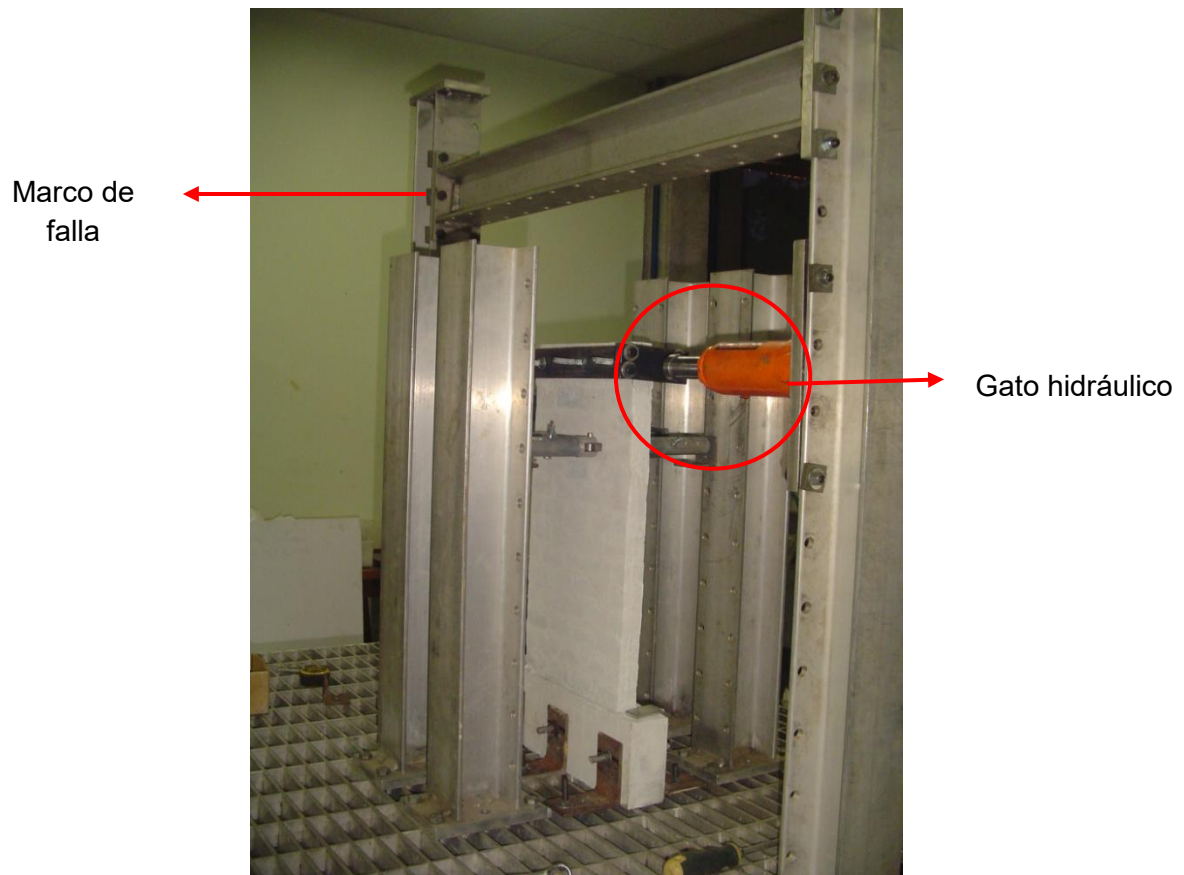


Figura 55. Montaje del muro a ensayar

Además del marco se colocaron elementos verticales a los lados del muro, de los cuales se instalaron los rodines a ambos extremos como se muestra en la Figura 56. Estos rodines van a cumplir una función importante en el proceso de falla del muro, ya que va a servir de restricción del desplazamiento fuera del plano de la carga, y al mismo tiempo le va a permitir a el muro desplazarse libremente en el momento de la falla en el plano de la aplicación de la carga.

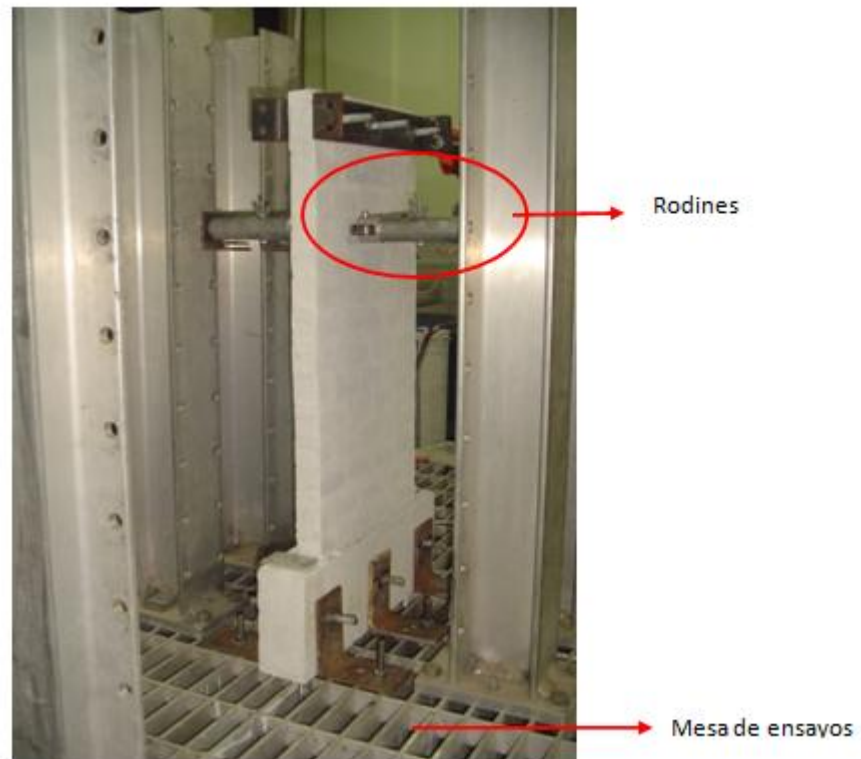


Figura 56. Montaje del muro a ensayar

3.7 Instrumentación

La instrumentalización constó de 4 deformímetros, el primero de estos se colocó en el centroide de la fundación; éste mide el deslizamiento que se dio en esta zona con respecto a la base fija en dirección paralela a la longitud del muro.

El segundo deformímetro se colocó sobre una placa de aluminio que es pegada en un extremo del muro, como se muestre en la Figura 57, éste mide el levantamiento del pie derecho en el extremo cargado, el cual indica el grado de rotación del cuerpo rígido.

El tercer deformímetro es el encargado de medir el desplazamiento horizontal de la viga corona, este se mide en el centroide de la corona. La diferencia de este desplazamiento y el obtenido por el primer deformímetro, dio como resultado el desplazamiento horizontal total del muro.

El cuarto y último deformímetro se colocó de igual manera que el segundo, pero en el extremo contrario a éste, el desplazamiento medido por el deformímetro es el que se produce verticalmente en la parte inferior del muro con respecto a la base.

En la Figura 57 se puede observar la colocación de los primeros tres deformímetros mencionados a la hora de ensayar el muro. De igual manera en la Figura 58 se muestra la colocación del cuarto deformímetro.

Además en la Figura 58 se muestra la colocación de la celda de carga y el cable por el medio del cual se transmitieron los datos de carga a la caja lectora.

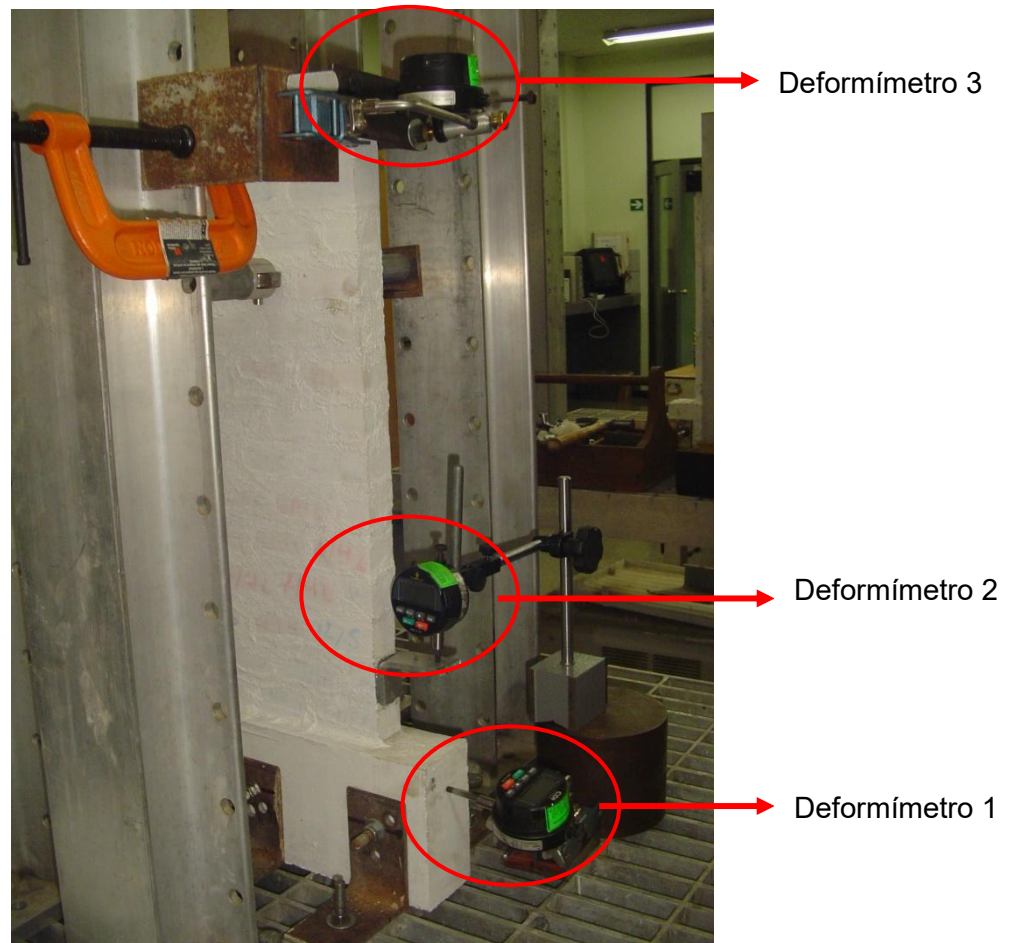


Figura 57. Deformímetros 1,2 y 3 colocados para la falla



Figura 58. Deformímetro 4 y celda de carga colocados para la falla

3.8 Carga aplicada

La carga que se aplicó a los muros es lateral, puntual, monotónicamente creciente y paralela a el muro; esta carga se aplicó en la parte superior del muro con la ayuda de una celda de carga y un gato hidráulico, el cual será capaz de sostener una carga estática y una razón de desplazamiento constante hasta alcanzar el límite propuesto.

Esta aplicación debe de cumplir y seguir con los requisitos establecidos en la norma ASTM E 564-06.

Esta norma determina que antes de iniciar el ensayo y la toma de datos, se debe de someter sobre el muro que se va a ensayar una precarga de aproximadamente el 10% de la carga última estimada y mantenerla por 5 minutos, esta se descarga y se espera 5 minutos; una vez ocurrido esto se ponen todos los deformímetros en cero y se comienza el ensayo; primero se carga el muro a $1/3$ de la carga última estimada, se remueve la carga y el valor residual con los que quedan los deformímetros va a ser la primera lectura de la siguiente carga, después de transcurridos 5 minutos de la descarga, se carga de nuevo el muro pero a $2/3$ de la carga última esperada, se sigue el mismo procedimiento, se descarga y se esperan 5 minutos antes de comenzar la última etapa, en ésta la aplicación de carga se desarrolla hasta alcanzar la falla del muro.

CAPÍTULO 4

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Generalidades

En el presente capítulo se exponen las pruebas que se realizaron a 4 muros de mampostería (2 muros de mampostería integral y 2 de mampostería confinada) para obtener las cargas últimas de los modelos estructurales.

También se ilustra y se analiza el comportamiento que tuvo cada uno de estos muros a la hora de ensayarlos, y los modos de falla que fueron predominantes en cada uno de ellos.

El objetivo de este capítulo es obtener y analizar la ductilidad con la que cuentan los muros y compararla así con la teórica; ya que los 4 muros fueron diseñados con ductilidad local óptima. En el anexo H se muestra el procedimiento utilizado para la obtención de esta ductilidad, teniendo las curvas de esfuerzo deformación de falla de cada muro.

4.1 Cargas últimas en los modelos estructurales

Es importante conocer las cargas últimas de los modelos estructurales que fueron ensayados, ya que esto permite realizar una comparación de los modelos ya no de forma teórica como era lo que se había planteado con anterioridad, si no ahora de forma experimental y entre ambos resultados. Además los muros se llevaron hasta este criterio de carga última porque de esta forma se obtiene que los materiales trabajen al límite de su resistencia.

Para obtener esta información se utilizó una celda de carga la cual transfirió la información a una caja lectora por medio de un cable, como se ilustra en la Figura 58 mostrada anteriormente. La caja lectora va indicando la carga que se le aplicó al muro que se está ensayando, la cual se proporcionó de forma incremental con un rango constante; la última lectura que se obtuvo fue la carga última resistida por el modelo ya que después de ésta el muro no soporto la aplicación de más, por lo que en este momento se da la finalización al ensayo.

La fuerza de cortante que se generó en la base del modelo, es equivalente a la carga última que se obtuvo de cada muro. Por lo tanto el momento que se aplicó al modelo estructural es el producto de la carga última por la altura del muro donde es aplicada la carga.

Los datos definidos anteriormente se muestran en el Cuadro 25.

Cuadro 25. Resultados experimentales obtenidos

Muestra	Carga última aplicada (kg)	Fuerza de Cortante (kg)	Momento aplicado (kg-cm)
Muro Integral #1	575	575	28750
Muro Integral #2	600	600	30000
Muro Confinado #1	900	900	45000
Muro Confinado #2	850	850	42500

Como se muestra en el Cuadro anterior hay variaciones entre las resistencias de cada tipo de muro, por lo que en el Cuadro 26 se muestran estas diferencias en forma porcentual.

Cuadro 26. Porcentajes de variación de las resistencias últimas

Muestra	Carga última aplicada (kg)	Porcentaje de variación (%)
Muro Integral #1	575	4,1
Muro Integral #2	600	
Muro Confinado #1	900	5,6
Muro Confinado #2	850	

De forma porcentual podemos concluir que las diferencia entre resistencias últimas es baja, por lo que se considera que los procesos de construcción, desencofrado y el montaje, que son lo que podrían presentar durante su desarrollo algún tipo de complicación que signifique pérdida de resistencia del muro, se desarrollaron de forma estable para ambos tipos de muros.

Como forma de ir generalizando los datos obtenidos para el análisis de resultados y que se simplifique la comparación entre las cargas experimentales y teóricas de los muros, se muestra en el Cuadro 27, los datos promediados.

Cuadro 27. Promedios de la resistencia últimas de los modelos estructurales

Muestra	Carga última aplicada (kg)	Promedio de la carga última (kg)
Muro Integral #1	575	588
Muro Integral #2	600	
Muro Confinado #1	900	875
Muro Confinado #2	850	

Como se mencionó anteriormente se quiere realizar una comparación entre las cargas últimas de las muros, por lo que en el Cuadro 28 se muestran estas y el porcentaje de variación entre ambas.

Cuadro 28. Comparación entre cargas experimentales y teóricas

Muro	Carga última Teórica (kg)	Carga última Experimental (kg)	Cociente de variación de las cargas
Integrales	303	588	1,93
Confinados	360	875	2,43

Se puede observar que la variación en la carga en los muros integrales es casi el doble de la carga esperada y en el caso de los muros confinados representa cerca de un 2.5 veces de la carga esperada, con esto se concluye que el borrador de la propuesta del CSCR-10 es bastante conservador pero siempre estando del lado de la seguridad, cumpliendo su objetivo que es resguardar la vida humana. En el caso de los muros confinados esta variación es mayor ya que son las que soportan mayor carga, esto se lo podemos atribuir al aporte que desempeña el marco de concreto al paño de mampostería al captar por el mismo, una cantidad de carga significativa.

4.2 Modo de falla de los elementos estructurales

Los modelos estructurales fueron diseñados esperando una falla por flexión, ya que en borrador de CSCR-10 se estipula que para una relación altura/ancho de 2 utilizada para esta investigación, la falla que se producirá en ambos tipos de muros es por flexión.

Se tiene en cuenta que para estimar los modos de falla no solamente se debe de considerar este parámetro, si no también factores constructivos como la calidad de la mano de obra, la cantidad de refuerzo tanto horizontal como vertical, la correcta aplicación de la carga y que no se incurra en esfuerzos externos que no se tenían contemplados, entre otras.

A continuación se ilustra el modo de falla de cada uno de los muros.

4.2.1 Muros de mampostería Integral

Muro Integral #1

El muro #1 experimentó una falla por flexión como era de esperar. Al aplicar las precargas correspondientes, el muro no experimentó ningún agrietamiento. Como se ilustra en la Figura 59 y 60 el agrietamiento se empezó a formar cuando se le aplicó una carga de 550 kg, esta primera grieta se originó en la zona de la hilada más cercana a la base, al incrementarse la carga la grieta continuó extendiéndose en esta misma zona y apareció una nueva grieta en la segunda y tercera hilada. Además se comenzó a notar en la zona de compresión del muro un pequeño aplastamiento el cual aumentó al ir incrementando la carga, llegando al desprendimiento del borde del bloque de mampostería pero aun así conservando la estabilidad, esto se ilustra en la Figura 61 y 62. El muro llegó a la falla cuando se encontraba cargado a 575 kg, en estos momentos éste no soportó más carga y las deformaciones se incrementaron con rapidez.

En este caso el muro no desarrolló su resistencia en cortante, ya que la falla debido a su geometría se dio por esfuerzos a flexión antes de alcanzar su capacidad nominal de cortante. Por lo que se determina que es una falla controlada por flexión.

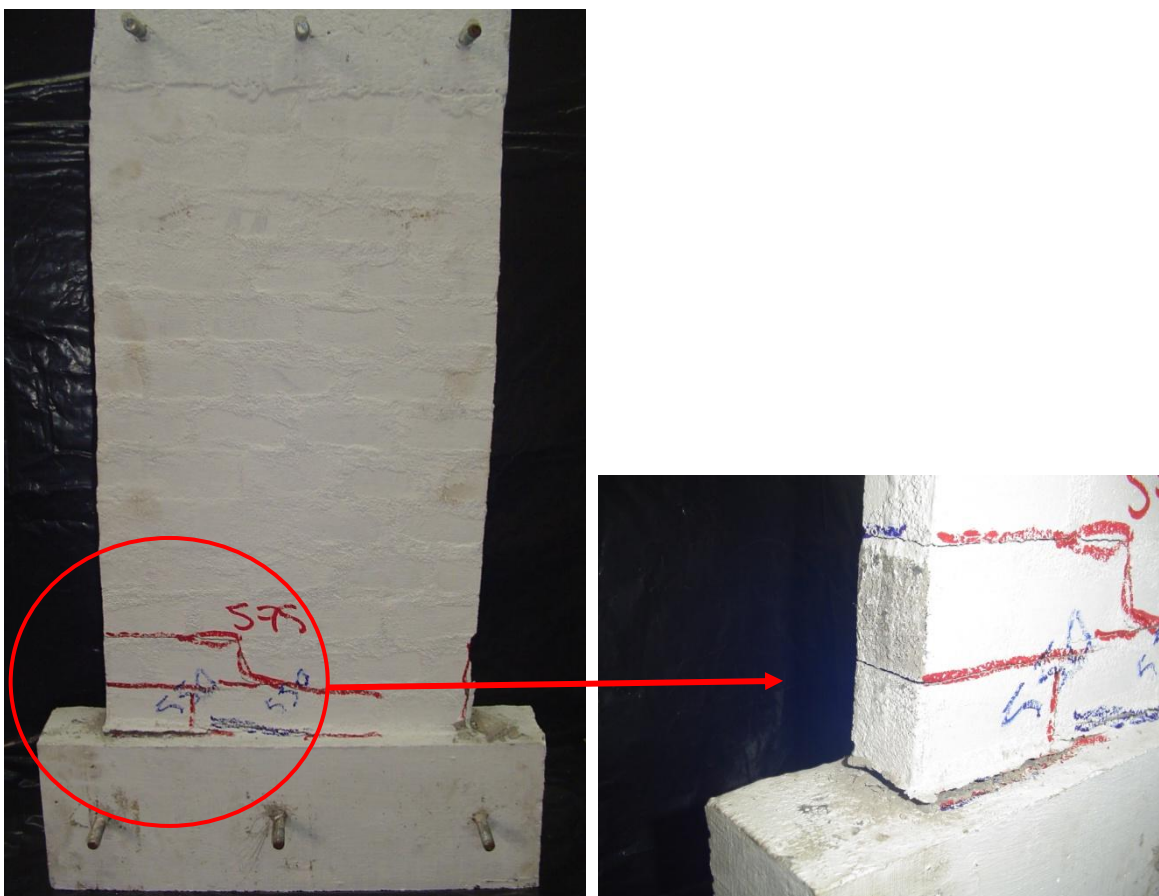


Figura 59. Falla del muro integral #1

Figura 60. Levantamiento del muro en el lado de la tensión.

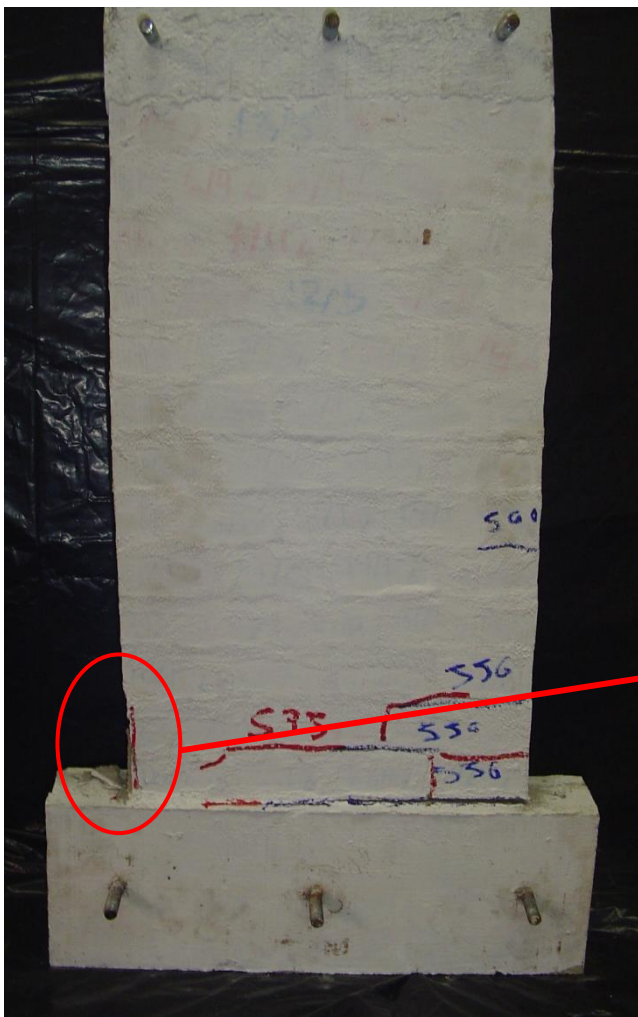


Figura 61. Falla del muro integral #1



Figura 62. Compresión del muro integral #1

En la Figura 63 se presenta el gráfico de las precargas aplicadas al muro integral #1, estas corresponden a 100 kg y a 200 kg, además se muestra el desplazamiento que el muro sufrió para cada una de estas.

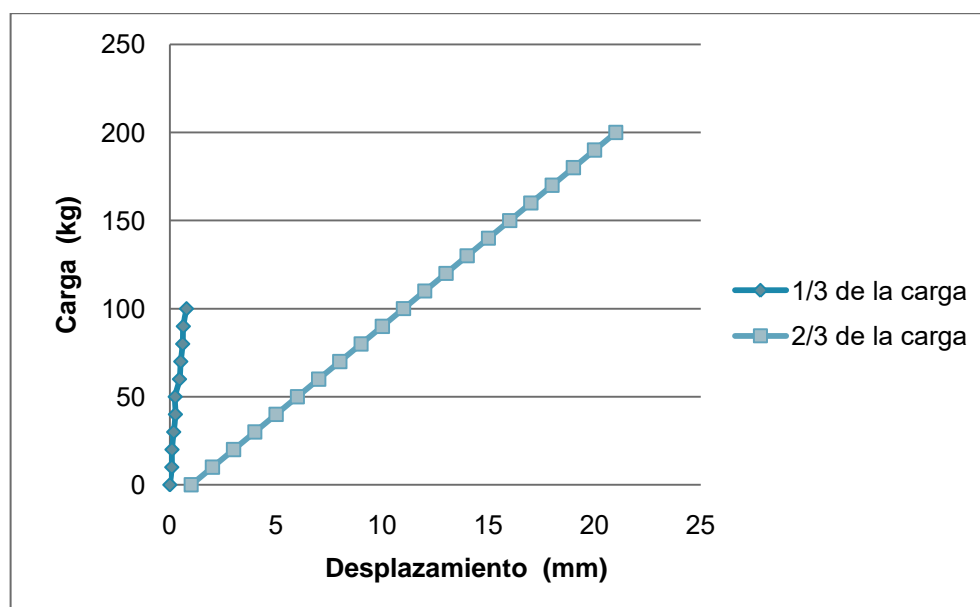


Figura 63. Curva de carga-desplazamiento de la precarga de el muro integral #1

En la figura 64 se muestra la curva carga – desplazamiento para la muro integral #1, en esta se observa el comportamiento que sufrió éste al irle incrementando la carga, en el cual aproximadamente hasta los 200 Kg se da una tendencia lineal correspondiente al rango elástico. Además de esta curva se muestra el valor correspondiente a la carga última o de falla del muro a los 575 kg.

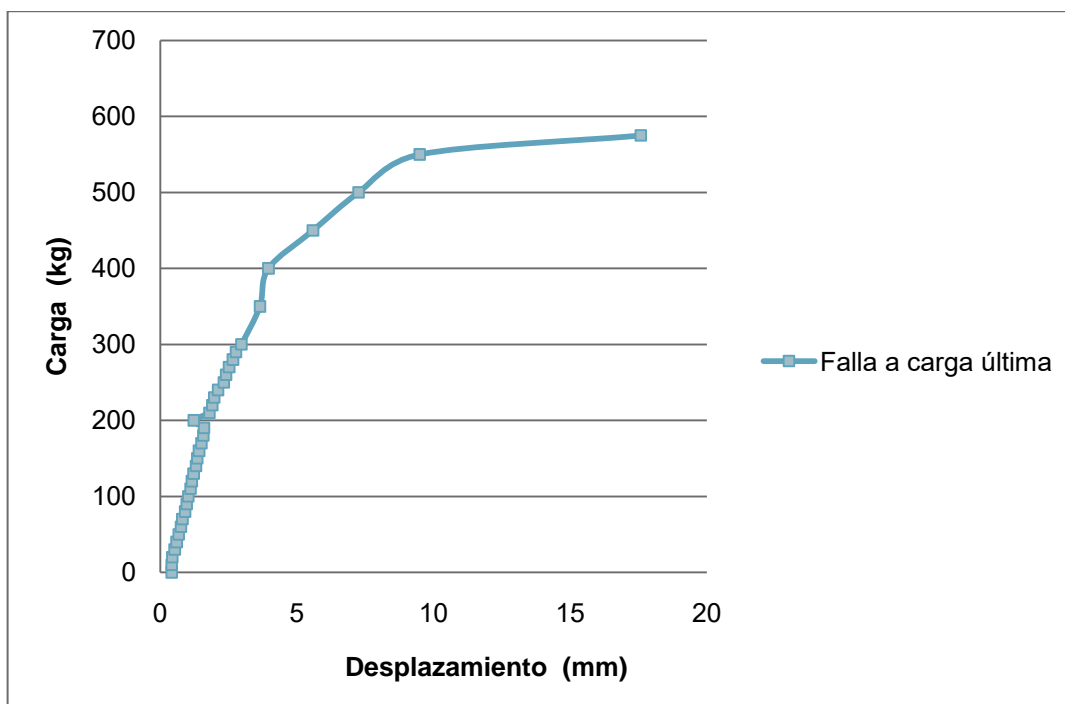


Figura 64. Curva de carga-desplazamiento de el muro integral #1

Muro Integral #2

Al igual que el muro integral #1 en este se produce una falla por flexión, solamente que en este caso el agrietamiento se inició en una carga más temprana de 440 kg que se originó en el sector de la primera hilada más cercana a la base. Aunque la carga que originó el agrietamiento es menor que la del muro integral #1, en las precargas no se originó ningún tipo de agrietamiento.

Cuando se incrementó la carga a unos 500 kg y 550 kg, se extendió el agrietamiento en la misma zona, como se observa en las Figuras 65 y 66. Ya cuando se llegó a una carga de 580 kg fue notorio el agrietamiento en la parte inferior del muro, y se observó el leve levantamiento de éste con respecto a la viga de fundación.

El muro continuó soportando carga y al llegar a los 600 kg se formaron varias grietas simultáneas, estas igual de flexión en la zona de tensión del muro, específicamente en la

segunda, tercera, cuarta y sexta hilada. En esta misma carga se produjo el aplastamiento de las paredes de los bloques en la zona de compresión como se muestra en la Figura 67 y 68, y por ende, el desprendimiento del borde del bloque de mampostería solo que esta vez un poco más notable que para el caso de el muro integral #1.

Este llega a la falla cuando se encontró cargado a 600 kg, ya que en estos momentos el muro no soportó más carga y las deformaciones se incrementaron con rapidez. Al igual que el muro integral #1, el muro no desarrolló su resistencia en cortante, ya que la falla del mismo debido a su geometría se dio por esfuerzos a flexión antes de alcanzar su capacidad nominal de cortante. Por lo que se determina que es una falla controlada por flexión.

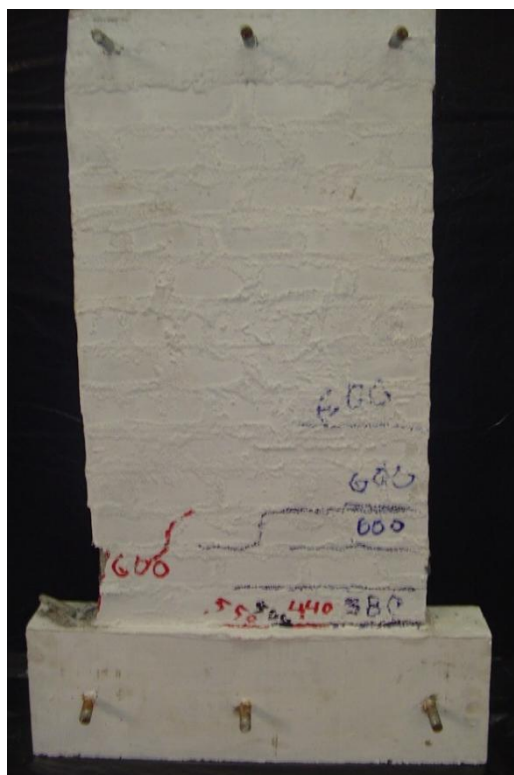


Figura 65. Falla del muro integral #2

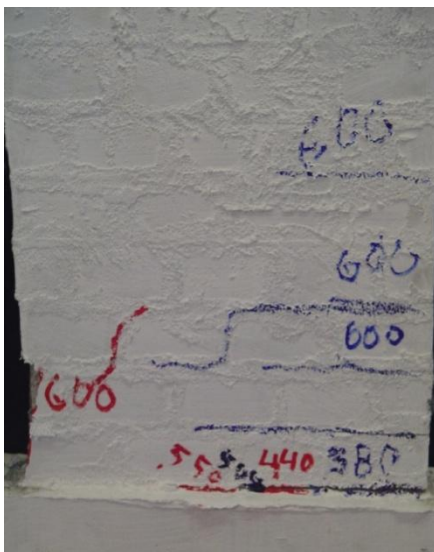


Figura 66. Ampliación de la falla del muro integral #2.

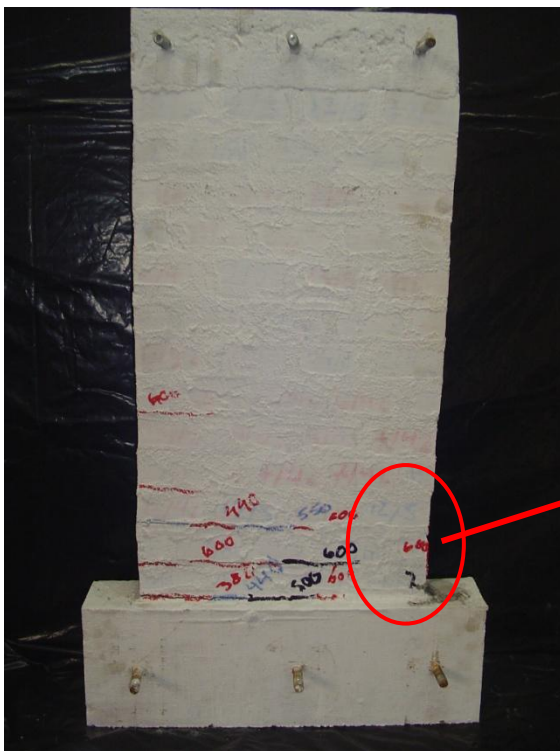


Figura 67. Falla del muro integral #2.



Figura 68. Ampliación de la falla en la zona de compresión del muro integral #2.

En la Figura 69 se presenta el gráfico de las precargas aplicadas al muro integral #2, estas corresponden a 160 kg y a 340 kg, además se muestra el desplazamiento que el muro sufrió para cada una de estas.

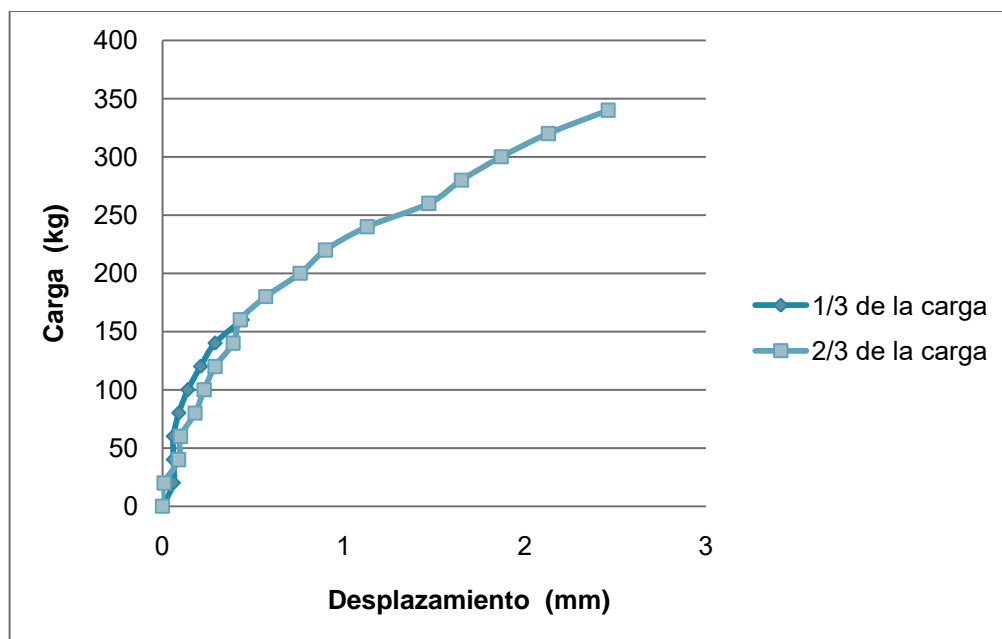


Figura 69. Curva de carga-desplazamiento de la precarga de el muro integral #2

En la figura 70 se muestra la curva carga – desplazamiento para la muro integral #2, en esta se observa el comportamiento que sufrió éste al irle incrementando la carga.

Para este muro el rango elástico no posee una pendiente tan pronunciada, ni un desplazamiento tan grande como lo es el caso del muro integral #2, ya que el desplazamiento que sufre es cerca de la mitad de éste. Además de esta curva se muestra el valor correspondiente a la carga última o de falla del muro a los 600 kg.

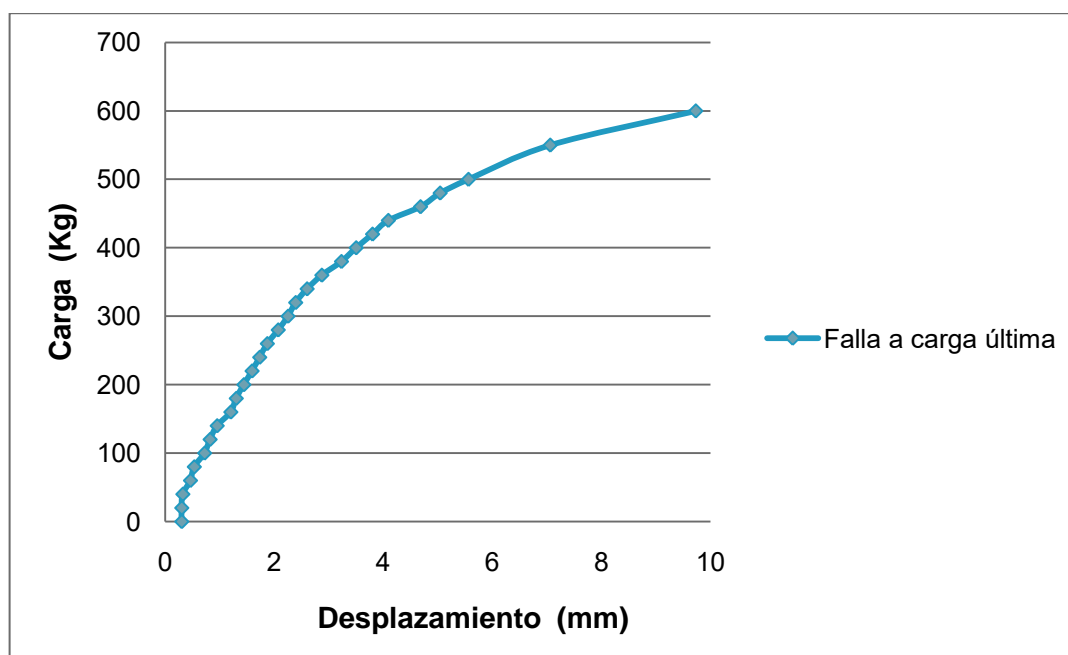


Figura 70. Curva de carga-desplazamiento de el muro integral #2

4.2.2 Muros de mampostería Confinada

Muro Confinado #1

El muro confinado #1 experimentó una falla de flexión, pero mostró mayor agrietamiento por cortante en el paño de mampostería, esto a una carga de 917 kg.

Al inicio de la carga se presentaron grietas leves en el marco de concreto en la zona de tensión, estas grietas son correspondientes a un comportamiento de flexión y se comienzan a presentar a los 750 kg. Como se muestra en las Figuras 71 y 72.

Cuando se aumentó la carga el comportamiento del muro se volvió más complejo que los muros integrales, ya que el marco de concreto aportó mayor resistencia y además le proporcionó rigidez que modificó su comportamiento global ante cargas laterales, lo que

provocó que el paño de mampostería presentara grietas de cortante. Se inició con dos pequeñas grietas a los 750 kg en el paño de mampostería, al mismo tiempo que siguieron apareciendo algunas de flexión en el marco. Cuando se llegó a una carga de 800 kg las grietas por cortante se hicieron notorios, extendiéndose en una diagonal en todo el paño de mampostería iniciando en la parte superior en el lugar de la aplicación de la carga, y se extendieron hasta aproximadamente la tercera hilada cercana a la base como se muestra en la Figura 71 y 73.

Además de estas grietas por cortante se comenzó a presentar un agrietamiento en la viga fundación a nivel del primer tornillo en forma de diagonal, esto se ilustra con mayor detalle en la Figura 72.

Cuando se incrementó la carga a 917 kg que es la carga de falla del muro, el agrietamiento se produjo en la zona de la primera hilada más cercana a la base, lo que produce el levantamiento del paño de mampostería con respecto a la viga fundación, y en esta misma carga se presentaron algunas grietas en la segunda y tercera hilada.

Esta última es la carga de falla del muro, sin embargo cuando se aplicó más carga se incrementó el agrietamiento en la viga de fundación a una carga de 950 kg como se ilustra en la Figura 67, sin embargo como el muro ya había fallado no se dispone este dato para el análisis de carga-desplazamiento de el muro.

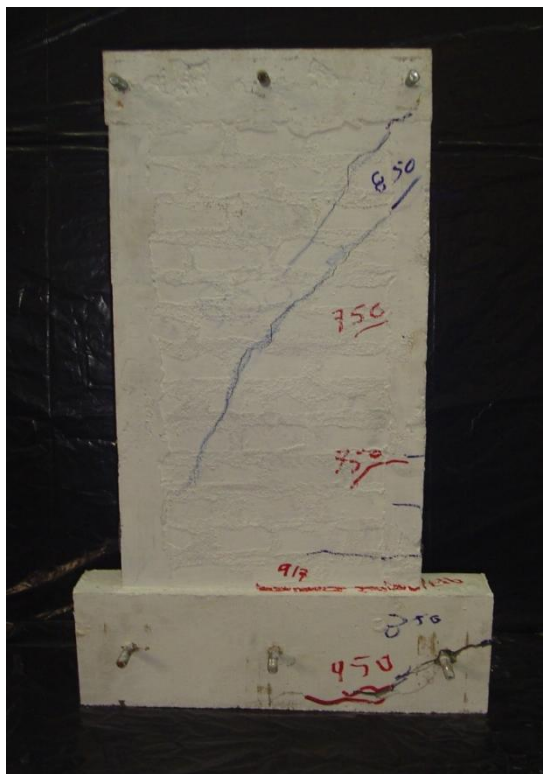


Figura 71. Falla del muro confinado #1



Figura 72. Ampliación de la foto anterior donde se observa la falla en la fundación.

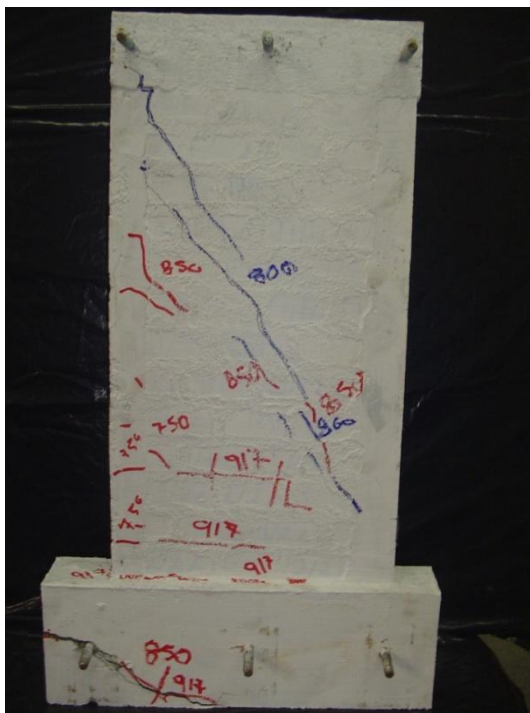


Figura 73. Falla del muro confinado #1

En la Figura 74 se presenta el gráfico de las precargas aplicadas al muro confinado #1, estas corresponden a 120 kg y a 240 kg, además se muestra el desplazamiento que el muro sufrió para cada una de estas.

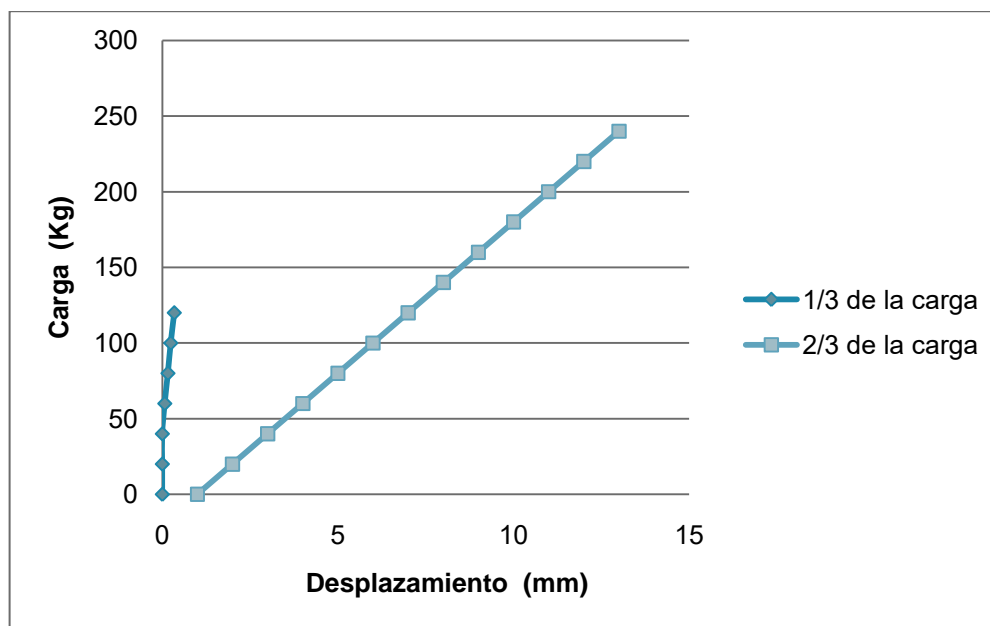


Figura 74. Curva de carga-desplazamiento de la precarga de el muro confinado #1

En la figura 75 se muestra la curva carga – desplazamiento para la muro confinado #1, en esta se observa el comportamiento que sufrió éste al irle incrementando la carga.

En esta curva se observa una discontinuidad en el comportamiento que venía teniendo el muro en el rango de 580 kg a 700 kg. Además se muestra el valor correspondiente a la carga última o de falla del muro a los 917 kg.

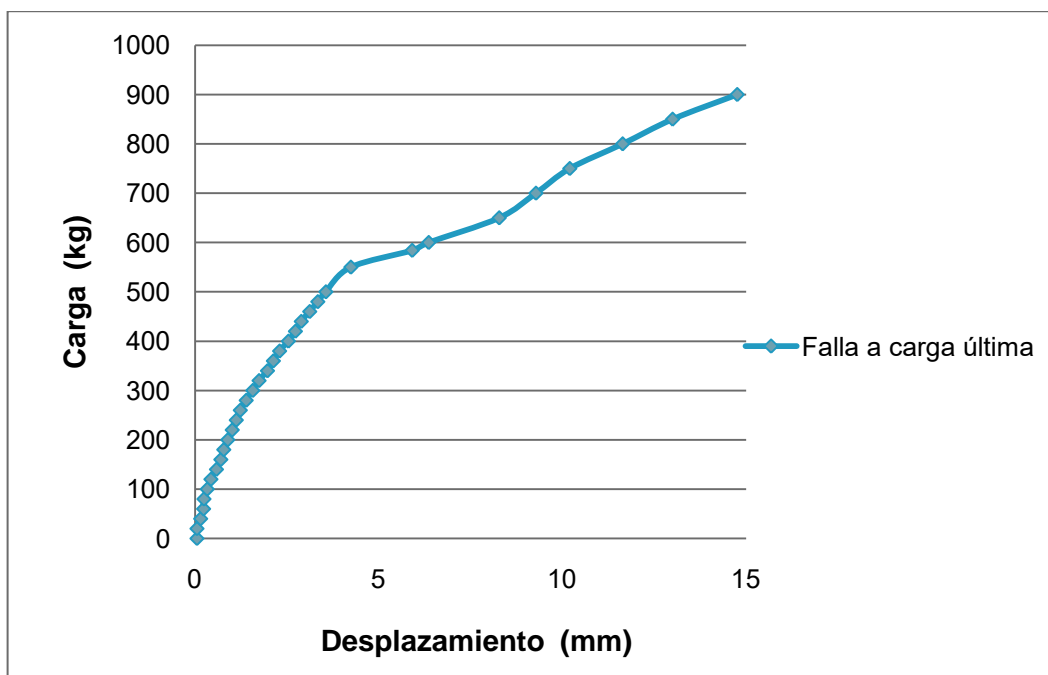


Figura 75. Curva de carga-desplazamiento de el muro confinado #1

Muro Confinado #2

El comportamiento de este muro es prácticamente igual al del muro confinado #1, con la diferencia que el agrietamiento se inició con una carga menor. Por lo que las grietas si se iniciaron al finalizar la segunda precarga correspondiente al 2/3 de la carga última esperada; estas grietas se presentaron en el marco de concreto en el lado de aplicación de la carga, correspondientes a flexión.

Luego se presentaron grietas de cortante en paño de mampostería como se ilustra en las Figuras 76 y 78, estas se producen en un rango de carga de 650 kg a 727 kg. En este rango se extendieron desde aproximadamente la mitad de la altura del muro a la tercera hilada más cercana a la base. Cuando se llegó a una carga de 779 kg se empezaron a formar grietas de flexión en la primera hilada y otra en la tercera hilada. Además en la misma carga se extendió la grieta de cortante.

La carga de falla o última se presentó a los 820 kg, originó una nueva grieta inclinada de cortante que se inició en la parte superior del muro en el lugar de la aplicación de la carga, y terminó un poco más debajo de la mitad del muro. Al mismo tiempo esta carga produjo la falla por flexión en la parte inferior y fluencia del acero como se muestra en la Figura 77.

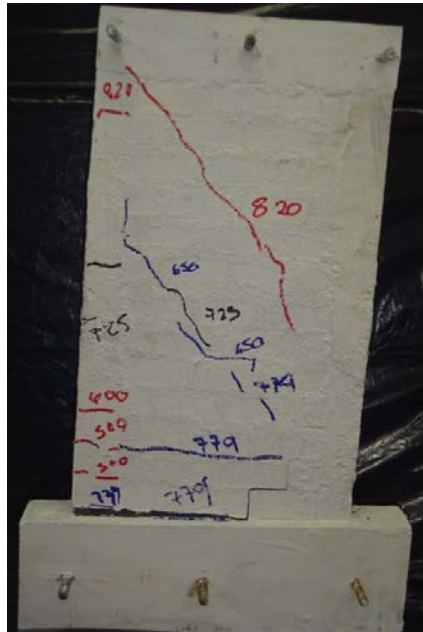


Figura 76. Falla del muro confinado #2



Figura 77. Levantamiento del muro en el lado de la tensión.

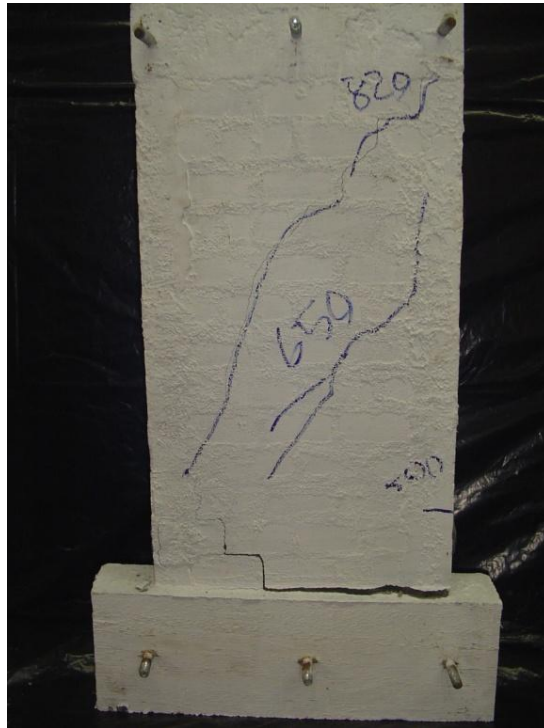


Figura 78. Falla del segundo muro confinado

En la Figura 79 se presenta el gráfico de las precargas aplicadas al muro confinado #2, estas corresponden a 300 kg y a 600 kg, además se muestra el desplazamiento que el muro sufrió para cada una de estas.

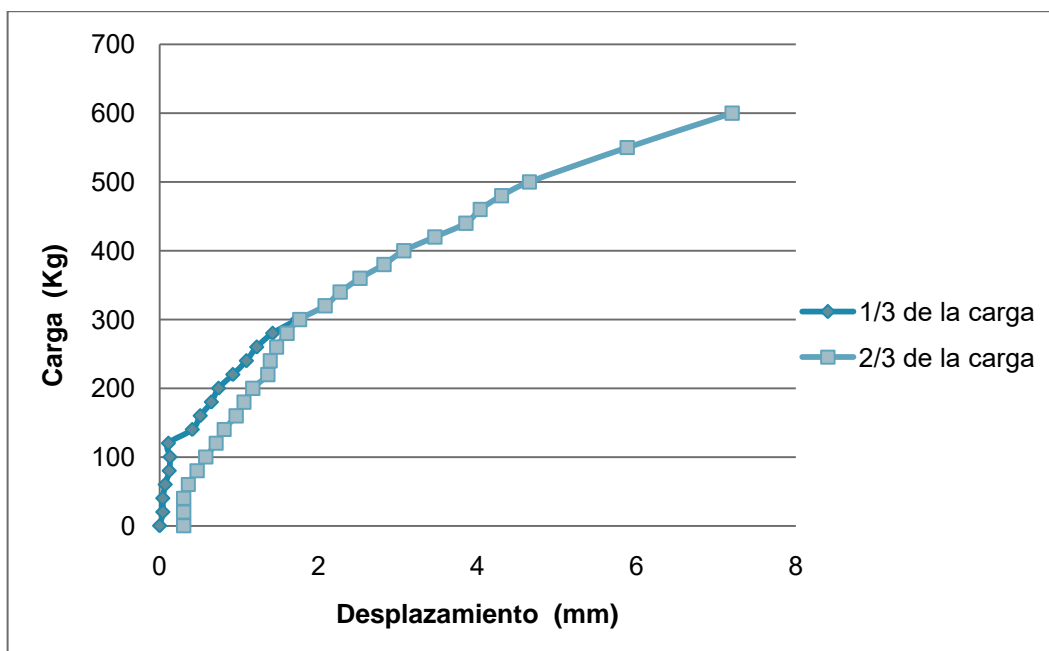


Figura 79. Curva de carga-desplazamiento de la precarga de el muro confinado #2

En la figura 80 se muestra la curva carga – desplazamiento para la muro confinado #2, en esta se observa el comportamiento que sufrió éste al irle incrementando la carga.

En esta curva se observa una discontinuidad en el comportamiento que venía teniendo el muro en el rango de 600 kg a 800 kg, pero de menor intensidad que el mostrado en el muro confinado #1. Además se muestra el valor correspondiente a la carga última o de falla del muro a los 850 kg.

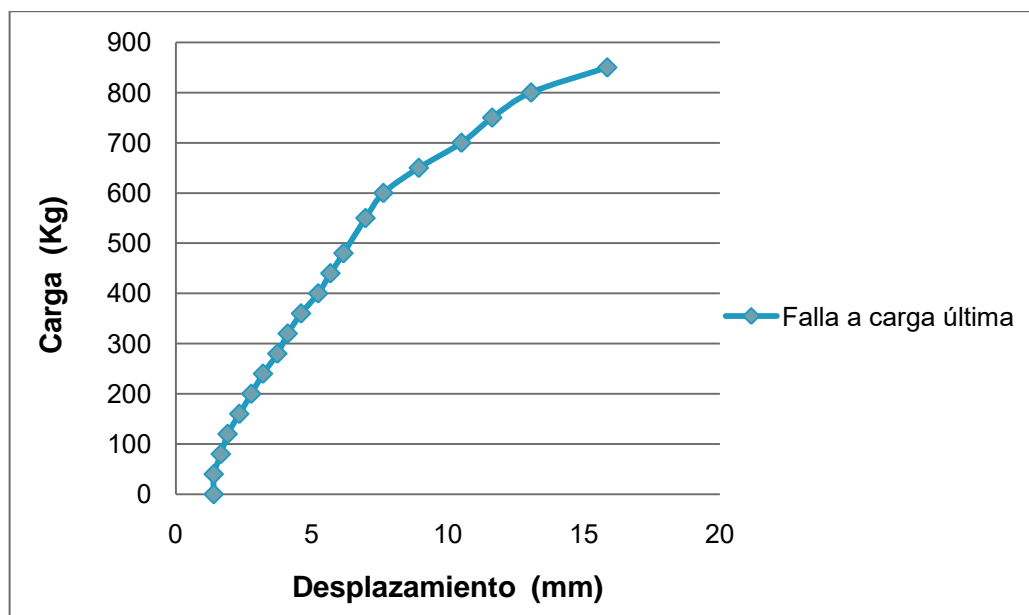


Figura 80. Curva de carga-desplazamiento de el muro confinado #2

4.3 Ductilidad de los modelos estructurales

El CSCR-02 define la ductilidad **como "el cociente entre el desplazamiento último y al correspondiente al límite elástico"**. Para el cálculo de esta se utilizó la metodología propuesta por la norma ASTM E 2126-09. Este procedimiento se encuentra en el Anexo I de este documento.

Para obtener la ductilidad de los modelos estructurales primero se debió de obtener el diagrama de carga desplazamiento de cada uno de los muros, y de este adquirir el desplazamiento último del muro que es el que corresponde al asignado de la carga última o de falla. Siguiendo el procedimiento del anexo H, con la metodología de áreas equivalentes se obtiene el desplazamiento correspondiente al límite elástico.

En el Cuadro 29 se encuentran las ductilidades para cada uno de los modelos estructurales siguiendo el procedimiento anteriormente mencionado.

Cuadro 29. Resultados de la ductilidad de los modelos estructurales

Elemento	Deformación en la carga última (mm/mm)	Deformación en el límite elástico (mm/mm)	Ductilidad (δ_u/δ_E)	Cociente (δ_u/h)
Muro Integral #1	17,58	4,40	4,00	0,033
Muro Integral #2	9,73	2,20	4,42	0,018
Muro Confinado #1	14,71	3,90	3,77	0,028
Muro Confinado #2	15,86	3,80	4,17	0,030

Es importante mencionar que la última columna del Cuadro 29 corresponde al cociente del desplazamiento último de cada muro y la altura de este. Este cálculo se realizó para dar una idea de si se está obteniendo ductilidad local óptima, si fuera el caso que la carga aplicada a este hubiera sido cíclica en vez de monotónicamente creciente. En el Capítulo 4 del borrador del CSCR-10, se menciona que los elementos de mampostería cumplen con ductilidad local óptima aquellos que en **pruebas experimentales, demuestren ser capaces de resistir deformaciones cíclicas correspondientes a desplazamientos relativos de entrepiso de 0.030.**

Como se observa del cuadro anterior los muros integrales son los que presentan mayor ductilidad, esto se puede atribuir a que en muros confinados el marco de concreto trata de deformarse elásticamente, y el paño de mampostería al ser muy rígido (con respecto a la mampostería integral) no le permite esa capacidad de deformación, esta estructura en conjunto da como resultado un sistema poco dúctil.

Independientemente de cuál posee mayor ductilidad todos los modelos cumplen con la ductilidad propuesta por el borrador del CSCR-10 de 2, para un sistema estructural tipo muro con irregularidad moderada y ductilidad local óptima.

A continuación se va a presentar la comparación de las curvas carga-desplazamiento de donde se obtuvieron las ductilidades anteriores de todos los modelos estructurales.

4.3.1 Comparación de las curvas de los 4 muros ensayados.

Se presenta a continuación en la Figura 81, el gráfico con las 4 curvas carga-desplazamiento que se obtienen del ensayo de los modelos. El objetivo de esta sección es analizar visualmente el comportamiento de las curvas al presentarse todas juntas.

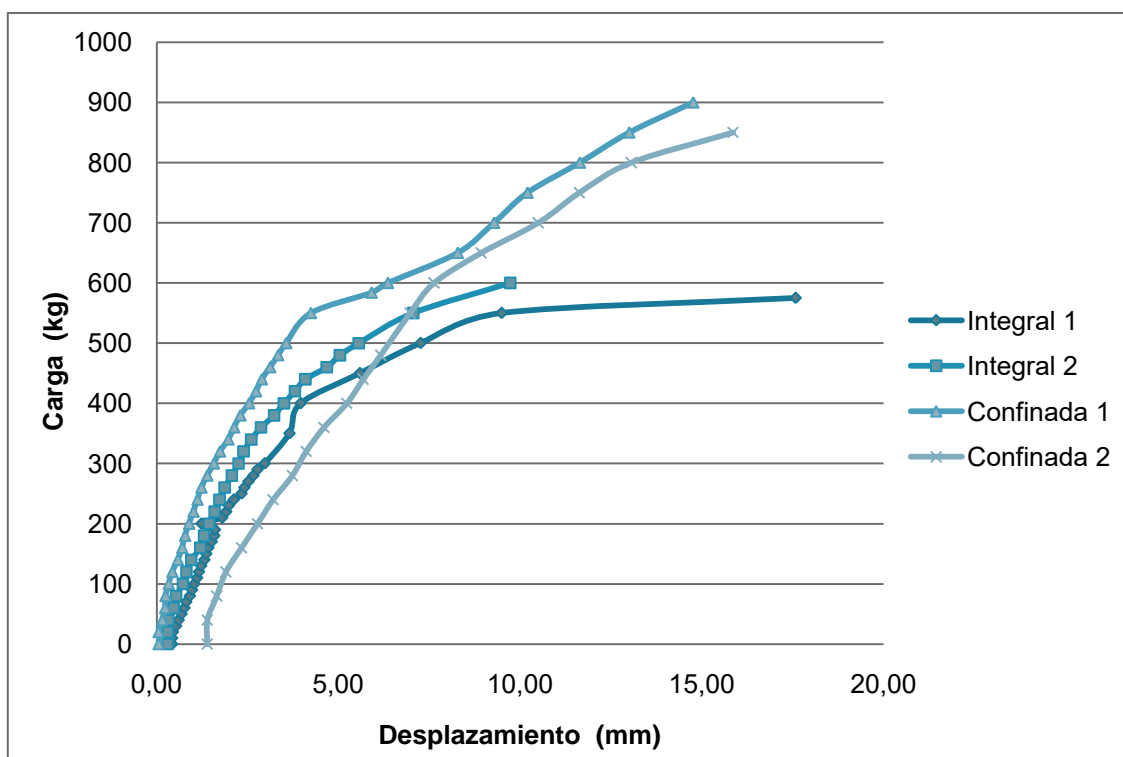


Figura 81. Comparación de las curvas carga- desplazamiento de los 4 modelos

Se puede observar que el muro confinado #2 es el que presentó una variación con respecto a las 3 muestras anteriores, ya que la misma tiende a un comportamiento elástico lineal.

Se muestra además visualmente la variación entre las ductilidades de los 2 muros integrales, ya que para el muro integral #1 su último punto de carga correspondió a un desplazamiento mayor que el obtenido del muro integral #2 en el mismo rango de carga, lo que proporcionó mayor ductilidad.

4.4 Comparación de resultados con trabajos anteriores

Se consideró importante realizar una comparación de los datos obtenidos con el trabajo de Feoli G., 1996, ya que este modela muros a escala reducida 1/6 tanto mampostería integral como confinada, con una relación de altura/ancho de 2,3 donde se quiere tener una falla controlada por flexión, esto hace que sea la investigación que más se asemeja a la presente.

Para este Proyecto de Graduación se utilizó los mismos criterios constructivos así también se desarrollaron las mismas pruebas de laboratorio para los materiales, con la diferencia que no se cuenta con los mismos materiales por lo que se tendrán variaciones en los diseños de mezcla y dosificaciones.

4.4.1 Comparación de las consideraciones generales de las dos investigaciones

En el Cuadro 30 se presentan los rangos más relevantes a la hora de medir la similitud de las investigaciones. Se puede observar diferencias como la separación de los aros de confinamiento tanto en la viga corona, como en las columnas en el caso de la mampostería confinada. Además la variación de la relación altura/ancho en un 13% entre ambas investigaciones, pero siempre diseñados para obtener una falla por flexión según el CSCR vigente.

Cuadro 30. Comparación de datos generales

Propiedades	Trabajo de Investigación de Feoli G., 1996		Esta Investigación	
	Confinados	Integrales	Confinados	Integrales
Factor de escala	1/6		1/6	
Relación altura/ancho	2,3		2	
f´m	95 kg/cm ²		98 kg/cm ²	
Bloque prototipo	20 cm x 20 cm x 40cm		20 cm x 20 cm x 40cm	
Resistencia y refuerzo de la fundación	450 kg/cm ²		450 kg/cm ²	
	Acero horizontal: 8#5		Acero horizontal: 8#5	
	aros @ 10cm		aros @ 10cm	
Refuerzo de la viga corona	Acero horizontal: 4#5		Acero horizontal: 4#5	
	aros @ 20 cm		aros @ 10 cm	
Resistencia y refuerzo de las columnas	210 kg/cm ²		210 kg/cm ²	
	Acero vertical: 4#5		Acero vertical: 4#5	
	aros @ 20cm		aros @ 10cm	

Fuente. Feoli G., 1996.

La comparación del refuerzo en el paño de mampostería se muestra en el Cuadro 31, la variación que se da entre investigaciones es la ausencia de refuerzo horizontal en ambos tipos de mampostería para la investigación de Feoli G., 1996, además de la diferencia en la separación del refuerzo vertical del paño.

Cuadro 31. Comparación del refuerzo en el paño de mampostería

Propiedades	Trabajo de Investigación de Feoli G., 1996		Actual Investigación	
	Confinados	Integrales	Confinados	Integrales
Refuerzo vertical	1#5 @ 40 cm	1#5 @ 40 cm	1#5 @ 60cm	1#5 @ 20cm
Refuerzo Horizontal	No uso	No uso	1#3 @ 40cm	1#3 @ 20 cm

Fuente. Feoli G., 1996.

4.4.3 Comparación de los modos de fallas de las dos investigaciones

Para esta sección se obtuvo figuras encontradas en la investigación de Feoli G., 1996, que ilustran el modo de falla de los muros ensayados.

En el caso de la mampostería integral se presentan en las Figuras 82 y 83. En la primera se presentó una gran grieta vertical moviéndose a través de las sisas, y según lo concluido por Feoli G., 1996, esta se debe en gran parte a que el muro se encontraba alabeada lo que produjo que actuaran esfuerzos de torsión.

En la Figura 83, se muestra el colapso de la zona de compresión acompañado de una grieta a flexión en todo lo ancho del muro.

Al comparar estos 2 tipos de comportamiento con la falla típica que se presentó para esta investigación en los muros integrales, como se muestra en la Figura 62, es notorio como la presencia tanto del refuerzo horizontal como de los aros en el paño de mampostería, desempeñan una labor de confinamiento a la compresión en la mampostería. Lo que tiene como resultado pasar de una falla poco controlada a una falla totalmente controlada a flexión, sin que colapse parte de la estructura.

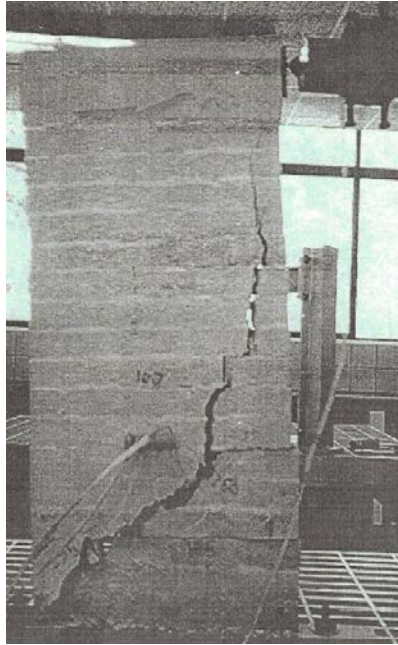


Figura 82. Muro integral de Feoli G., 1996, después de la falla

Fuente. Feoli G., 1996.

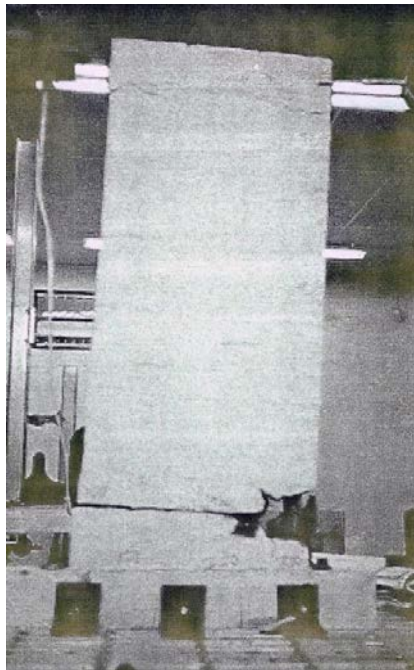


Figura 83. Muro integral de Feoli G., 1996, después de la falla

Fuente. Feoli G., 1996.

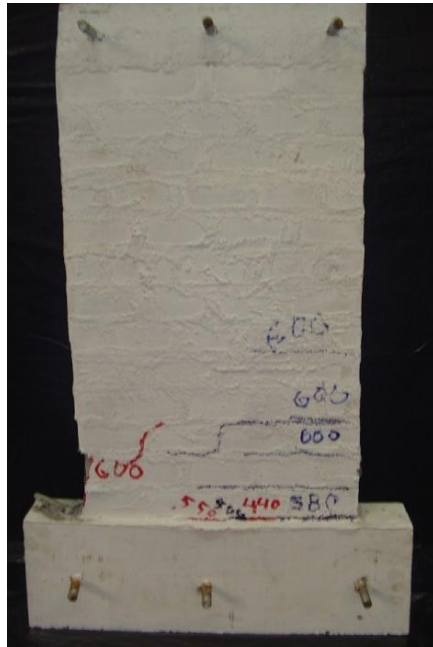


Figura 65. Muro confinado de la presente investigación después de la falla

Para el caso de los muros confinados de Feoli G., 1996, que se ilustra en la Figura 84, se muestra la falla total del muro y se observan grietas típicas de flexión en el marco de concreto y el comportamiento típico de cortante en el paño de mampostería.

En comparación con el comportamiento típico obtenido en este trabajo para la mampostería confinada, se presentó el mismo tipo de falla, que son grietas de flexión en el marco y grietas por cortante en el paño de mampostería. Analizando visualmente y tomando en cuenta las consideraciones generales que se presentaron anteriormente, el que no se presentara un colapso del paño de mampostería como fue el caso de Feoli G., 1996, se lo atribuimos al aporte del refuerzo horizontal, el cual cumple perfectamente su función aportando resistencia al paño de mampostería.



Figura 84. Muro confinado de Feoli G., 1996, después de la falla

Fuente. Feoli G., 1996.

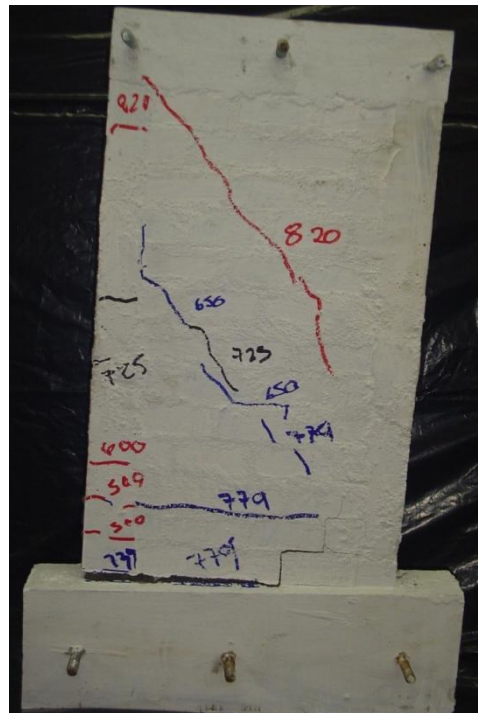


Figura 76. Muro confinado de la presente investigación después de la falla

4.4.4 Comparación de las ductilidades de las dos investigaciones.

Para realizar una mejor comparación entre los modelos de ambas investigaciones se realizó primero un promedio de la ductilidad por tipo de muro, y se extrajo de la investigación de Feoli G., 1996 este dato ya promediado. Esto se muestra en el Cuadro 32 y 33.

Cuadro 32. Promedio de la ductilidad de los datos de esta investigación

Elemento	Ductilidad	Promedio de la ductilidad por cada tipo de muro
Muro Integral #1	4,00	4,21
Muro Integral #2	4,42	
Muro Confinado #1	3,77	3,97
Muro Confinado #2	4,17	

Cuadro 33. Resultados de la ductilidad extraídos de la investigación de Feoli G., 1996

Elemento	Promedio de la ductilidad por cada tipo de muro
Muro Integral	2,33
Muro Confinado	1,83

Fuente. Feoli G., 1996.

Cuadro 34. Promedio de la ductilidad de ambas investigaciones

Elemento	Ductilidad de la presente investigación	Ductilidad de Feoli G., 1996	Varianza de las ductilidades (%)
Muro Integral	4,21	2,33	47,0
Muro Confinado	3,97	1,83	53,9

Fuente. Feoli G., 1996.

Como se muestra en el cuadro 34, la diferencia entre las ductilidades se debería en mayor parte a las mejoras que se han venido sugiriendo desde el CSCR 1986 al borrador del CSCR-10, en cuanto al refuerzo de compresión como es la utilización del refuerzo horizontal y su espaciamiento vertical en los diferentes elementos que conforman el modelo estructural, además la utilización de aros, espiral o placas de confinamiento en la mampostería integral para obtener ductilidad local óptima.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Con los valores de resistencia obtenidos experimentalmente para cada uno de los modelos estructurales, se realizó la comparación con los diseños teóricos esperados, de los cuales se desprende que los muros de mampostería confinada con una relación altura/ancho de 2, diseñados a capacidades que diferían en un 19% (mayor la resistencia de la mampostería confinada), resisten un 49% más que los muros integrales.
- Se puede concluir que los resultados obtenidos que las ecuaciones del capítulo 9 del borrador del CSCR-10, para el diseño de muros de mampostería con cargas paralelas a su plano son conservadoras, esto podría atribuirse en parte a que el proceso constructivo se desarrolló en un ambiente muy controlado.
- Se obtuvo una ductilidad promedio en la mampostería integral de 4,21 que representa el 2,11 del valor propuesto de 2 que sugiere el borrador del CSCR-10, y en el caso de la mampostería confinada es de 3,97 que representa el 1,99 del valor propuesto de 2 que sugiere el CSCR-02. Se puede concluir que se obtuvieron ductilidades del 111% y del 99% mayores a las esperadas en la mampostería integral y confinada respectivamente.
- Como se muestra anteriormente los muros de mampostería integral poseen mayor ductilidad que los muros confinados, pero como se muestra en las curvas los desplazamientos últimos registradas son mayores en los muros confinados. Este comportamiento se explica porque los muros de mampostería integral alcanzan el límite elástico con valores de carga, y deformación mucho menores que en el caso de los muros confinados.
- Para todos los modelos los valores de ductilidad obtenidos son mayores que 2, pero hay que tomar en cuenta que el equipo utilizado en el laboratorio no permite

registrar los últimos valores de desplazamiento, por lo que los valores de ductilidad obtenidos a partir de los datos registrados pueden ser menores a los reales.

- Se concluye que los aros de confinamiento para proporcionar ductilidad local óptima sugeridos en el capítulo 9 del borrador del CSCR-10 funcionaron perfectamente y es notable la capacidad estos proporcionan a una mejor resistencia por compresión.
- Se concluye que las variaciones realizadas al Capítulo 9 del borrador del CSCR-10 son realmente mejoras al diseño estructural. Las variaciones más representativas del documento que se utilizaron en la elaboración de esta investigación, se presentan en el Anexo J donde se muestra un cuadro comparativo del CSCR-02 vs el borrador del CSCR-10.

Recomendaciones

- Hacer por lo menos tres modelos iguales por cada tipo de muro para obtener resultados más significativos y así contra restar algún factor negativo, ya sean errores constructivos o problemas en la falla. Además aunque ninguna de estas circunstancias ocurriera, siempre es bueno tener la mayor cantidad de muestras para corroborar los resultados obtenidos y que sean más representativos.
- El modelado a escala reducida ha sido ampliamente estudiado y está comprobado que se logra un comportamiento similar entre el prototipo y el modelo, con la ventaja de que en escala reducida se disminuye el costo de la fabricación de la estructura. Como en esta investigación se obtuvieron diferencias en los resultados experimentalmente y los teóricos esperados, se recomienda realizar ensayos a muros similares a escala natural para comparar y corroborar si se sigue obteniendo la misma variación de resultados.

- Se recomienda hacer el modelo de estos muros a escala natural para tener resultados todavía más confiables, y someterlos a cargas cíclicas para que simule el efecto de un sismo.
- En esta investigación no se simuló el efecto de carga axial de un entrepiso, por lo que se recomienda para futuros trabajos de graduación realizar este tipo de modelaje tanto en escala reducida como natural.
- Se deben de promover las investigaciones utilizando el modelado en escala reducida, ya que los trabajos que se han realizado aportan valiosa información en cuanto al diseño, comportamiento y construcción de estos elementos. Además se recomienda incentivar las investigaciones que evalúan de forma teórica y experimental, las disposiciones y requisitos del CSCR, ya que igualmente realizan un aporte importante y contribuyen a fortalecer este documento que ha sido creado con el mayor fin de velar por la seguridad de las personas.
- El laboratorio de Escala Reducida de LanammeUCR, cuenta con el espacio y materiales básicos para la elaboración de investigaciones experimentales en mampostería en escala reducida. Sin embargo pueden realizarse mejoras como equipar el laboratorio para realizar ensayos con carga cíclicas como se realizan a escala natural, además de proporcionar más equipo para que se puedan realizar fallas simultaneas.

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

- (1): **Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos**, "Código Sísmico de Costa Rica del 2002", Editorial Tecnológico, (3 ed.).
- (2): Colegio Federado de Ingenieros y **Arquitectos**, "Código Sísmico de Costa Rica del 1886", Editorial Tecnológico, (1 ed.)
- (3): Comisión Permanente de Estudio y Revisión del Código Sísmico **de Costa Rica**, "Borrador de la propuesta del Capítulo 9 del Código Sísmico **de Costa Rica del 2010**".
- (4): Castro Morales, Ricardo. "Optimización del proceso de diseño de mezcla y fabricación de bloques de mampostería en escala reducida". Informe del Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, 2005.
- (5): Espinoza blanco, Edwin. "Mezclas de Microconcreto para modelos Estructurales". Informe del Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, 1991.
- (6): Feoli Soto, Giancarlo. "Modelado a Escala Reducida de mampostería confinado sometidas a flexión". Informe del Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, 1996.
- (7) Marín Zamora, Oscar. "Modelado a escala reducida de muros de mampostería sometidas a esfuerzos de flexión y cortante". Informe del Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, 1996.
- (8) Sáenz García, Alejandra. "Comportamiento estructural de muros de mampostería confinado en escala reducida con ductilidad local óptima". Informe del Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, 2009.
- (9) Ubico Durán, Diana. "Comportamiento carga-desplazamiento en muros de mampostería integral a escala reducida con diferentes tipos de confinamiento en los extremos". Informe del Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, 2005.

(10) Standard C136, 2006, "**Standard** Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006, DOI: 10.1520/C0136-06, www.astm.org.

(11) ASTM Standard C33, 2003, "Specification for Concrete Aggregates," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, DOI: 10.1520/C0033-03, www.astm.org.

(12) ASTM Standard C128, 2007, "**Standard Test Method for Density**, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007, DOI: 10.1520/C0128-07A, www.astm.org.

(13) ASTM Standard C40, 2004, "**Standard** Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004, DOI: 10.1520/C0040-04, www.astm.org.

(14) ASTM Standard C1152, 2004, "**Standard Test Method for** Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004, DOI: 10.1520/C1152_C1152M-04E01, www.astm.org.

(15) ASTM Standard C140, 2010, "**Standard Test Methods for Sampling and Testing** Concrete Masonry Units and Related Units," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010, DOI: 10.1520/C0140-10, www.astm.org.

(16) ASTM Standard C1019, 2009, "**Standard Test Method for Sampling and Testing Grout**," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009, DOI: 10.1520/C1019-09, www.astm.org.

(17) ASTM Standard C270, 2010, "**Standard** Specification for Mortar for Unit Masonry," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010, DOI: 10.1520/C0270-10, www.astm.org.

(18) ASTM Standard C1314, 2010, "**Standard Test Method for Compressive Strength of** Masonry Prisms," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010, DOI: 10.1520/C1314-10, www.astm.org.

(19) ASTM Standard E564, 2006, "**Standard** Practice for Static Load Test for Shear Resistance of Framed Walls for Buildings," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006, DOI: 10.1520/E0564-06, www.astm.org.

(20) **ASTM Standard E2126, 2009, "Standard Test Methods for Cyclic (Reversed) Load Test** for Shear Resistance of Vertical Elements of the Lateral Force Resisting Systems for Buildings," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009, DOI: 10.1520/E2126-09, www.astm.org.

(21) Reglamento Técnico RTCR 383, 2004, "Cementos Hidráulicos," Ministerio de Economía, Industria y Comercio, Costa Rica.

(22): T. Paulay, M.N.J. Priesley, "**SEISMIC DESIGN OF REINFORCED CONCRETE AND MANSORY BUILDINGS**", John Wiley & Sons, INC.

ANEXOS

ANEXO A. Ensayos de los materiales

A.1 Arena**Análisis granulométrico de un agregado (ASTM C136-06)**

Para el análisis se debió seguir con lo indicado en la norma ASTM C136-06, para esto se tomó una muestra del material que se utilizó y se pesó.

Peso inicial= 678 g

En la Tabla 35 se presenta el peso retenido correspondiente a cada una de las mallas luego de realizar el proceso de tamizado.

Cuadro 35. Peso retenido del material en las mallas

Retenido por la malla	Peso de la cápsula (g)	Peso del material + cápsula (g)	Peso del material (g)
#4	504,9	507,3	2,4
#8	470,6	609,7	139,1
#16	429	598,8	169,8
#30	395	547,9	152,9
#50	355	473,1	118,1
#100	351,8	415,3	63,5
Charola	704,8	736,3	31,5

El peso final del material luego de tamizarlo es de 677,3 g.

El porcentaje de error, con respecto al peso inicial es de 0,1 % que es menor al 0,3% que especifica la norma para que los resultados del ensayo sean aceptables.

Con los resultados anteriores se obtuvieron los porcentajes de material que pasa cada una de las mallas. A continuación se muestran las ecuaciones que se utilizaron.

$$\% \text{ Retenido} = (W_{\text{RETENIDO}}/W_{\text{TOTAL}}) * 100$$

$$\% \text{ Retenido}_{\text{ACUMULADO}} = \sum W_{\text{Retenido}}$$

$$\% \text{ Pasando}_{\text{ACUMULADO}} = 100 - \% \text{ Retenido}_{\text{ACUMULADO}}$$

Donde:

W_{RETENIDO} : Peso retenido en cada malla (g).

W_{TOTAL} : Suma de los pesos retenidos en todas las mallas (g).

En la Tabla 36 se muestran los resultados obtenidos y el requisito que se debe cumplir según la norma ASTM C33-03. Además en la Figura 85 se muestra la curva del porcentaje pasando del material con los límites requeridos.

Cuadro 36. Porcentaje pasando del material en las mallas

Malla	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando	Requisito ASTM C33	
#4	2,4	0,35	0,35	100	95	100
#8	139,1	20,54	20,89	79	80	100
#16	169,8	25,07	45,96	54,	50	85
#30	152,9	22,57	68,54	31	25	60
#50	118,1	17,44	85,97	14	5	30
#100	63,5	9,38	95,35	5	0	10
Charola	31,5	4,65	100,00	0	-	-

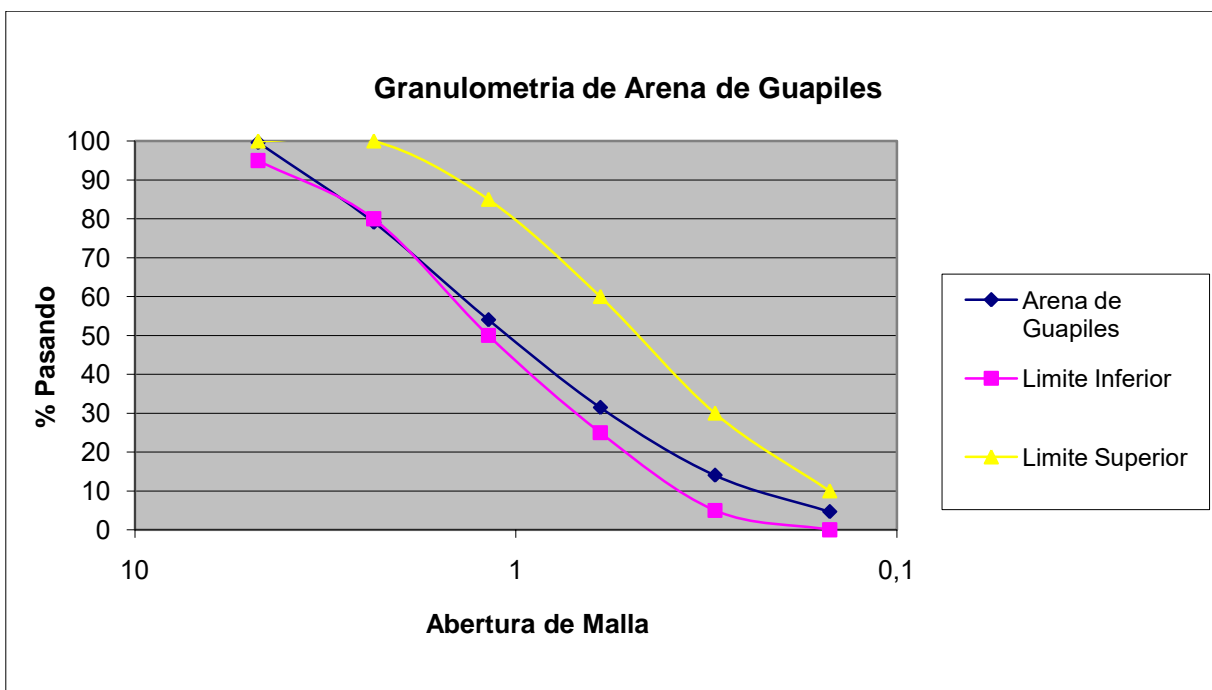


Figura 85. Porcentaje pasando en comparación con los límites requeridos

Peso específico y absorción de agregados finos (ASTM C128-07)

Para obtener los pesos específicos y el porcentaje de absorción, se utilizaron las siguientes ecuaciones.

Peso específico aparente:

$$G_s = \frac{A}{B+A-C}$$

Donde,

$$A = (P_s + P_c) - P_c \text{ (g)}$$

$$P_c = \text{Masa de la capsula (g)}$$

$$P_s + P_c = \text{Masa de la capsula + muestra 24 h después (g)}$$

B = Masa del picnómetro lleno de agua (calibración) (g)

C = Masa del picnómetro con espécimen agua hasta la marca de calibración (g)

Peso específico bruto seco:

$$G_{bs} = \frac{A}{B+S-C}$$

Donde,

S = Masa del espécimen saturado superficie seca (g) (S)

Peso específico saturado superficie seca:

$$G_{bss} = \frac{S}{B+S-C}$$

Porcentaje de absorción:

$$\%D = \frac{S-A}{A} * 100$$

Impurezas orgánicas en agregados finos para concreto (ASTM C40-04)

Se colocó una muestra del agregado en una botella de vidrio, graduada de 12 onzas, hasta un tercio de su altura.

Se añadió una solución de Hidróxido de Sodio (NaOH), preparada previamente en el laboratorio, al 3%. La solución se agregó hasta una altura por debajo de la marca de las 7 onzas.

Se agitó fuertemente para dejar salir el aire atrapado y se vuelve a añadir la solución de NaOH hasta la marca de 7 onzas. Se deja en reposo por 24 horas.

En el laboratorio se cuenta con unos vidrios de colores, que presentan un rango de tonalidad para comparar con el líquido supernatante de la muestra preparada.

Luego de las 24 horas se compara el color del líquido supernatante de la muestra con los vidrios.

En este ensayo el color del líquido supernatante con los colores patrón de los vidrios indica que el agregado no contiene impurezas orgánicas que superen las 500 partes por millón.

A.2 Cemento

Gravedad específica de un cemento hidráulico (ASTM C188)

La gravedad específica, (Gs), se obtiene con la siguiente ecuación.

$$G_s = \left(\frac{W}{V_f - V_i} \right)$$

Donde,

Peso de la muestra (W) (g)

Lectura de volumen inicial (Vi) (ml)

Lectura de volumen final (Vf) (ml)

Finura de un cemento hidráulico (ASTM C184)

La finura del cemento hidráulico, (F) se calcula con la siguiente ecuación.

$$F = 100 - \left(\frac{R_s}{W_i} * 100 \right)$$

Donde,

Peso inicial de la muestra (Wi) (g)

Residuo de la muestra retenido en la malla (Rs) (g)

A.3 Acero de refuerzo

Para obtener el diámetro del alambre galvanizado corrugado se utilizó la densidad del acero. Se utilizaron las siguientes ecuaciones.

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{A*L}$$

$$\Phi = \sqrt{\left(\frac{4*M}{\rho*L*\pi}\right)}$$

Donde:

ρ : Densidad del acero (g/cm³)

M: Masa de la muestra (g)

L: Longitud de la muestra (cm)

Φ : Diámetro de la muestra de acero galvanizado corrugado (cm)

En la Tabla 37 se presentan las longitudes y masas respectivas de 4 muestras de la varilla prototipo #3 y 4 muestras de la varilla prototipo #5. Con estos datos y las formulas mostradas anteriormente, se puede obtener el diámetro promedio de la varilla después de corrugada y así compararlo con el dato teórico.

Cuadro 37.Datos de las muestras de acero galvanizado

Número de varilla del prototipo	Espécimen	Longitud del espécimen (cm)	Masa (g)
#3	1	29,982	5,10
#3	2	29,934	5,05
#3	3	29,952	5,06
#3	4	29,966	5,07
Promedio de la #3		29,959	5,07
#5	1	29,977	13,63
#5	2	30,189	13,82
#5	3	29,983	13,69
#5	4	29,813	13,66
Promedio de la #5		29,991	13,70

ANEXO B. Procedimiento de diseño de los bloques de mampostería

La resistencia requerida para los bloques clase A es de 133 Kg/cm², de acuerdo con la especificación del Apéndice A del CSCR 2002.

En la tabla 38 se muestra la clasificación de las unidades huecas de mampostería de concreto. Las resistencias que se presentan en la tabla son resistencias a la compresión sobre el área neta a los 28 días de edad.

Cuadro 38. Resistencia de los bloques

Clase	Resistencia promedio (Kg/cm ²)	Resistencia mínima para una muestra individual (Kg/cm ²)
A	133	120
B	90	80
C	75	70

Fuente. Apéndice A del CSCR-02

Diseño de la mezcla de los bloques de mampostería

El diseño se realizó siguiendo el procedimiento descrito por Castro R., 2005.

B.1. Tamaño máximo

Tamaño máximo del agregado = 1,2 mm

Debe utilizarse el agregado que pase la malla # 16, cuya abertura mide 1,18 mm.

B.2. Relación agua/cemento

$$A/C = 0,6$$

De las curvas de diseño de Espinoza E., 1991, se obtuvo un porcentaje de agregado de 57,7%.

B.3. Volumen de mezcla

El volumen de mezcla requerido para fabricar un bloque es de 46,92 cm³ de concreto, a esta cantidad se le debe de agregar un porcentaje de desperdicio, en este caso se le va a agregar un 2%.

$$\text{Volumen} = 46,92 \text{ cm}^3 * 1,2 = 56,3 \text{ cm}^3$$

B.4. Peso de la arena

$$G_{bs} = 2,52$$

$$\gamma_w = 1 \text{ g/cm}^3$$

$$P_s = G_{bs} * \gamma_w \%Ag * V$$

$$P_s = 2,52 * 1 * 0,577 * 56,3$$

$$P_s = 81,86 \text{ g}$$

Donde:

G_{bs} : Peso específico de la arena.

γ : Peso específico del agua (g/cm³).

P_s : Peso de la arena (g).

% Ag: Porcentaje de agregado.

V: Volumen de la mezcla (cm³).

B.5. Peso del cemento

$$G_{sc} = 2,97$$

$$t = 5\%$$

$$P_c = G_{sc} * V * \left(\frac{1 - t - \%Ag}{G_{sc} * \left(\frac{A}{C} \right) + 1} \right)$$

$$P_c = 2,97 * 56,3 * \left(\frac{1 - 0,05 - 0,577}{2,97 * (0,6) + 1} \right)$$

$$P_c = 22,42g$$

Donde:

G_{sc}: Peso específico del cemento.

P_c: Peso del cemento (g).

%A_g: Porcentaje de agregado.

V: Volumen de la mezcla (cm³)

B.6. Peso del agua

$$D = 3,6\%$$

$$P_w = P_s * D + G_{sc} + \frac{A}{C} * V * \left(\frac{1 - t - \% Ag}{G_{sc} * \frac{A}{C} + 1} \right) * \gamma_w$$

$$P_w = 22,42 * 0,036 + 2,97 * 0,6 * 56,3 * \left(\frac{1 - 0,05 - 0,577}{2,97 * 0,6 + 1} \right) * 1$$

$$P_w = 14,26g$$

Donde:

D: Porcentaje de absorción (%).

P_w: Peso del agua (g).

P_s: Peso de arena (g).

A/C: Relación agua-cemento.

V: Volumen de la mezcla (cm³).

B.7. Dosificación por peso

En el Cuadro 39 se presenta la dosificación obtenida con la caracterización de los materiales y el procedimiento anteriormente mostrado.

Cuadro 39. Dosificación del microconcreto de bloques

Cemento	Arena	Agua
1	3,65	0,636

Se probó con este diseño, siguiendo con todos los cuidados constructivos que se deben tener según las normas ASTM, y se fallaron a 28 días después de su curado, estas muestras no cumplieron con la resistencia que se requería de 133 kg/cm^2 , por lo que se tuvo que cambiar un poco e ir fallando para saber cuándo se llegaba a la resistencia deseada.

La dosificación que cumplió finalmente con la resistencia requerida por el CSCR-02, se presenta en el Cuadro 40.

Cuadro 40. Dosificación del microconcreto de bloques utilizada

Cemento	Arena	Agua
1	3	0,58

ANEXO C. Cálculos para determinar el área

C.1 Cálculo del área neta de los bloques de mampostería

Fórmulas a utilizadas:

- Volumen Neto (V_n), $\text{mm}^3 = W_d/D = (W_s - W_i) * 10^6$
- Área Neta Promedio (A_n), $\text{mm}^2 = V_n/H$

donde,

V_n : Volumen neto del espécimen, mm^3

W_d : Peso seco al horno del espécimen, kg

D : Densidad seca al horno del espécimen, kg/m^3

W_s : Peso saturado del espécimen, kg

W_i : Peso sumergido del espécimen, kg

A_n : Área neta promedio, mm^2

Datos obtenidos de 2 muestras:

Bloque fabricado el 4 de Enero del 2010:

Wi: 53,0 g → 0,053 kg

Ws: 95,4 g → 0,0954 kg

En el cuadro 41 se presenta la altura promedio del bloque fabricado el 4 de Enero, en 4 puntos diferentes de las muestras.

Cuadro 41. Altura de los bloques

Puntos	Altura (mm)
1	34,4
2	34,0
3	34,2
4	34,5
Promedio	34,3

Bloque fabricado el 5 de Enero del 2010:

Wi: 54,7 g → 0,0547 kg

Ws: 97,6 g → 0,0976 kg

En el cuadro 42 se presenta la altura promedio del bloque fabricado el 5 de Enero, en 4 puntos diferentes de las muestras.

Cuadro 42. Altura de los bloques

Puntos	Altura (mm)
1	35,0
2	34,7
3	34,7
4	35,2
Promedio	35,0

Resultados obtenidos

Utilizando las formulas mostradas al inicio del anexo y los datos obtenidos del peso y la altura promedio de las muestras, se obtiene el volumen de los bloques que se muestran en el Cuadro 43. Además en el Cuadro 44 se observa el área neta promedio de los bloques, que se logro tener una vez que se conoció el volumen.

Cuadro 43. Volumen de los bloques

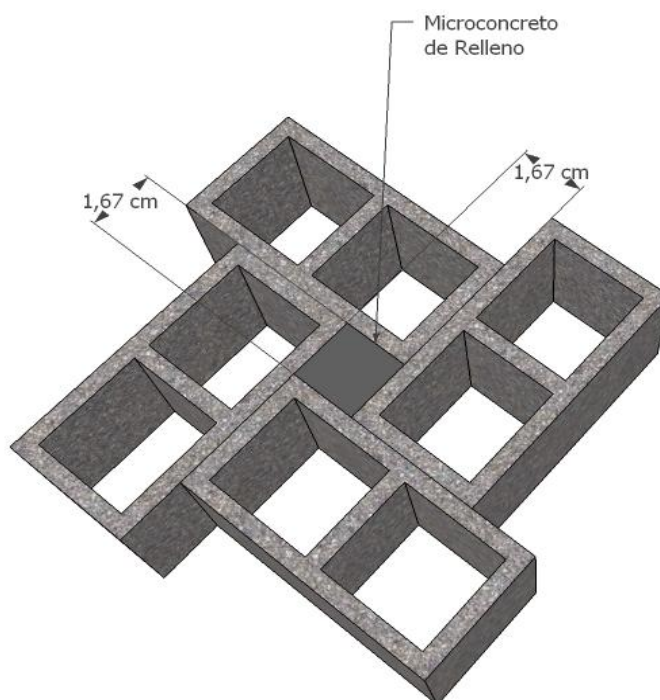
Volumen Neto	
Bloque fabricado el 4 de Enero 2010	42400 mm ³
Bloque fabricado el 5 de Enero 2010	42900 mm ³

Cuadro 44. Área neta de los bloques

Área Neta	
Bloque fabricado el 4 de Enero 2010	12,4 cm ²
Bloque fabricado el 5 de Enero 2010	12,3 cm ²
Promedio	12,4 cm ²

C.2 Cálculo del área de los prismas del microconcreto de relleno

El modelado que se utilizó para la realización de los prismas de microconcreto de relleno se puede observar en la Figura 86. Esta consta de 4 bloques colocados de forma alterna a ellos para conseguir la especie de un prisma central, en donde se colara el concreto con la dosificación adecuada para el microconcreto de relleno.

**Figura 86.** Modelado de los prismas de microconcreto de relleno.

Este prisma contará con las medidas también mostradas en la Figura 86, esto a escala reducida, por lo que el área de contacto de falla será de $2,79 \text{ cm}^2$.

C.3 Cálculo del área de los cubos del mortero

Para obtener el área de los cubos de mortero se utilizó un vernier para sacar las medidas del molde utilizado para este, el cual se ilustra en la Figura 87.



Figura 87. Molde de los cubos de microconcreto de mortero.

El vernier indicó que cada lado mide $1,2 \text{ cm}$, por lo tanto se trabajará con un área de $1,44 \text{ cm}^2$.

C.4 Cálculo del área de los cilindros del microconcreto de la fundación, columnas y viga corona

Al igual que para los cubos de mortero, se utilizó moldes para obtener los cilindros de microconcreto de relleno de la fundación, columnas y viga corona, estos se muestran en la Figura 88.



Figura 88. Molde de los cilindros de microconcreto de relleno.

En la tabla 45 se muestra la dimensión obtenida del diámetro del molde de los cilindros con la ayuda de un vernier. Además se muestra el área neta de estos con los datos anteriores.

Cuadro 45. Área neta de los cilindros

Diámetro (cm)	Radio (cm)	Área (cm ²) $A = \pi r^2$
2,62	1,31	5,39

ANEXO D. Diseño del muro prototipo

El diseño cumple con las disposiciones del borrador del CSCR-10.

El muro a diseñar va a formar parte de un edificio de oficinas el cual está integrada por 3 pisos. Además se toman las siguientes consideraciones para el diseño:

- Mampostería clase A, $f'_m = 100 \text{ Kg/cm}^2$
- Bloque de 20 cm x 20 cm x 40 cm
- El acero a utilizar es varilla #3 grado 40 y #5 grado 60. Se limita a este tipo de acero porque son los que se pueden utilizar para modelar a escala reducida al utilizar un factor de escala de $1/6$
- Se supondrá que la construcción del edificio se realizara en una zona III y el suelo es de tipo S3, esto para tratar de representar las características más comunes en el país.

D.1 Estimación de las fuerzas sísmicas.

Se dispondrá para estimar las fuerzas sísmicas del Método Estático que se encuentra en el capítulo 7 del CSCR 2002.

En las siguientes Figuras 89 y 90, se muestra de forma esquemática la distribución de las fuerzas sísmica y el modelo de distribución de las fuerzas sísmicas respectivamente.

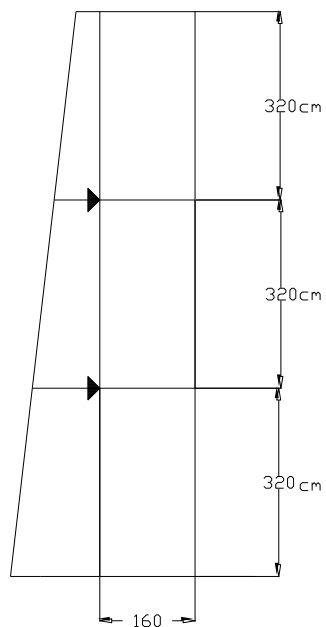


Figura 89. Distribución de fuerzas sísmicas

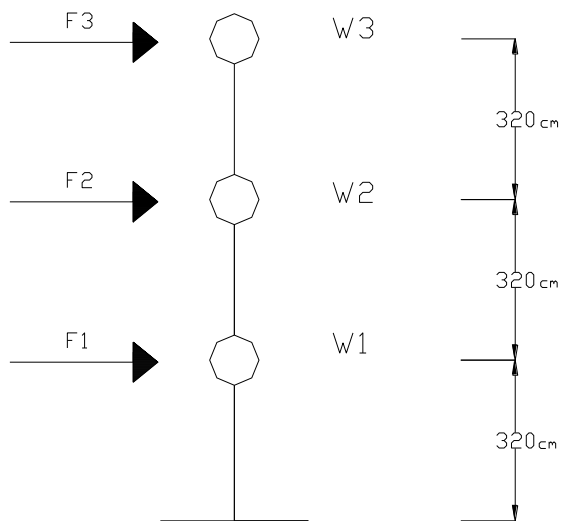


Figura 90. Modelo de distribución de fuerzas sísmicas

Cargas Permanentes

Para el cálculo del peso propio de la mampostería se asumen celdas totalmente rellenas, por lo tanto se utiliza un $f_m = 2250 \text{ Kg/m}^3$, en el caso de los muros confinados se toma igual este valor para ser más conservadores.

$$W 1 = 2250 \text{ Kg/m}^3 * 3,2 \text{ m} * 1,6 \text{ m} * 0,2 \text{ m} = 2304 \text{ Kg}$$

$$W 2 = 1850 \text{ Kg/m}^3 * 3,2 \text{ m} * 1,6 \text{ m} * 0,2 \text{ m} = 2304 \text{ Kg}$$

$$W 3 = 1850 \text{ Kg/m}^3 * 1,6 \text{ m} * 1,6 \text{ m} * 0,2 \text{ m} = 1152 \text{ Kg}$$

Se asumirá un área tributaria de 3 m x 2 m.

Peso del entrepiso:

$$W 4 \text{ peso viguetas y piso} = 330 \text{ Kg/m}^2 * 3 \text{ m} * 2 \text{ m} = 1980 \text{ Kg}$$

$$W 5 \text{ repello} = 2000 \text{ Kg/m}^3 * 0,02 \text{ m} * 3 \text{ m} * 2 \text{ m} = 240 \text{ Kg}$$

$$W 6 \text{ cerámica} = 50 \text{ Kg/m}^2 * 3 \text{ m} * 2 \text{ m} = 300 \text{ Kg}$$

$$W 7 \text{ cielos e instalaciones eléctricas} = 25 \text{ Kg/m}^2 * 3 \text{ m} * 2 \text{ m} = 150 \text{ kg}$$

Peso total del entrepiso = 2670 Kg

Peso del techo:

$$W 8 = 30 \text{ kg/m}^2 * 3 \text{ m} * 2 \text{ m} = 180 \text{ kg}$$

Carga Temporal

Como se mencionó anteriormente el fin del edificio a diseñar será oficinas, por lo que la carga temporal a considerar son 250 Kg/m².

$$W \text{ temporal (Kg)} = 250 \text{ Kg/m}^2 * 4 \text{ m} * 6 \text{ m} = 6000 \text{ Kg}$$

Determinación del coeficiente sísmico

$$C = \frac{a_{ef} * I * FED}{SR}, \text{ ecuación [5-1] del CSCR 2002}$$

Aceleración efectiva (Zona III y S₃) = 0,36

Factor de importancia (I) = 1,0

Factor de sobre-resistencia (SR) = 2,0

Ductilidad global asignada (μ) = 1,5. Para una estructura tipo muro con irregularidad moderada y ductilidad óptima.

$$\text{Periodo (T)} \quad T = 0,717 * \sqrt{\frac{w * h^4}{E * I * g}} = 0,717 * \sqrt{\frac{4,5 * 320^4}{75000 * 18814 * 981}} = 0,18 \text{ s}$$

$$w = 2250 \text{ Kg/m}^3 * 0,2 \text{ m} = 370 \text{ kg/m}^2 * 1 \text{ m} = 370 \text{ kg/m} = 4,5 \text{ Kg/cm}$$

$$E = 750 f'_m = 750 * 100 \text{ k/cm}^2 = 75000 \text{ k/cm}^2$$

$$g = 981 \text{ cm/seg}^2$$

$$I = 0,35 * I_g = 0,35 * \left[\frac{100 \text{ cm} * 20 \text{ cm}^3}{12} - \frac{4 * (15,4 \text{ cm} * 13,6 \text{ cm}^3)}{12} \right] = 18814 \text{ cm}^4$$

Factor espectral dinámico (FED) = 1,768

$$C = \frac{0,36 * 1 * 1,768}{2,0} = 0,32$$

Cálculo de las fuerzas sísmicas

Fuerza sísmica horizontal (cortante en la base)

$V = W * C$, ecuación [7-1] del CSCR 2002

Para el cálculo del peso que va a soportar el muro, se destina que el 15% de la carga temporal será soportada por los muros en caso de sismo.

$$W = \sum_{i=1}^N W_i = 2304 \text{ Kg} + 0,15 * 6000 \text{ Kg} + 2670 \text{ Kg} + 2304 \text{ Kg} + 0,15 * 6000 \text{ kg} + 2670 \text{ Kg} + 1152 \text{ kg} + 180 \text{ kg} = 13080 \text{ kg}$$

$$V = 13080 \text{ kg} * 0,32 = 4186 \text{ kg}$$

Distribución de las fuerzas sísmicas por nivel

$F_i = V \frac{W_i * h_i}{\sum_{k=0}^N W_k * h_k}$, ecuación [7-2] del CSCR 2002

$$F_1 = 4186 \text{ kg} * \frac{(2304 + 0,15 * 6000 + 2670) * 320}{(2304 + 0,15 * 6000 + 2670) * 320 + (2304 + 0,15 * 6000 + 2670) * 640 + (1152 + 180) * 960} = 1137,4 \text{ kg}$$

$$F_2 = 4186 \text{ kg} * \frac{(2304 + 0,15 * 6000 + 2670) * 640}{(2304 + 0,15 * 6000 + 2670) * 320 + (2304 + 0,15 * 6000 + 2670) * 640 + (1152 + 180) * 960} = 2274,8 \text{ kg}$$

$$F_3 = 4186 \text{ kg} * \frac{(1152 + 180) * 960}{(2304 + 0,15 * 6000 + 2670) * 320 + (2304 + 0,15 * 6000 + 2670) * 640 + (1152 + 180) * 960} = 773,8 \text{ kg}$$

$$M = 1137,4 \text{ kg} * 3,2 \text{ m} + 2274,8 \text{ kg} * 6,4 \text{ m} + 773,8 \text{ kg} * 9,6 \text{ m} = 25627 \text{ kg m}$$

El muro a diseñar se localiza en el primer piso, y debido que para la falla no se va a considerar carga axial a este, solo se tomó en cuenta su peso propio y se eliminó el peso de los demás muros.

Combinación de cargas

Sección 6.2 del CSCR 2002

P permanente = 2304 Kg

M sismo = 25627 kg m

V sismo = 4186 kg

Combinación 1: $P_u = 1,4 * CP = 3226 \text{ kg}$

Combinación 2: $P_u = 1,2 * CP = 2765 \text{ kg}$

Combinación 3: $P_u = 1,05 * CP + f1 * CT + CS = 2419 \text{ kg}$

$M_u = 1,05 * CP + f1 * CT + CS = 2562688 \text{ kg cm}$

$V_u = 1,05 * CP + f1 * CT + CS = 4186 \text{ kg}$

Combinación 4: $P_u = 0,95CP + CS = 2190 \text{ kg}$

$M_u = 0,95CP + CS = 2562688 \text{ kg cm}$

$V_u = 0,95CP + CS = 4186 \text{ kg}$

Rige la combinación de carga 4, debido a que la carga axial es menor y esta fuerza tiende a contrarrestar el volcamiento del muro debido al momento aplicado.

D.2 Diseño de los elementos de borde. Muros confinados

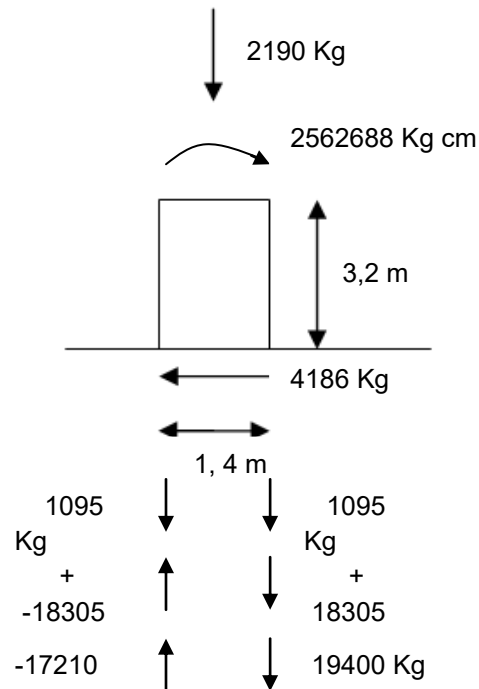


Figura 91. Fuerzas en los elementos confinantes

Las dimensiones mínimas de los elementos confinantes o de borde según la sección 9.9.3 del borrador del CSCR-10, son: el espesor mínimo debe ser el espesor de la mampostería, que en este caso es de 20 cm y el ancho mínimo es de 40 cm para edificios de más de dos pisos. Sin embargo los elementos confinantes se van a diseñar de 20 cm x 20 cm debido a que queremos mostrar el comportamiento de muros esbeltos, y si se toman elementos de 40 cm de ancho para los muros confinados estos llegarían a representar la mitad del muro, por lo que el paño de mampostería solo estaría conformado por 2 bloques, y esto no es representativo de una muro que se llegue a construir a escala natural.

Cálculo de los elementos de confinamiento por compresión

$$C = 19600 \text{ Kg}$$

$$f'_m = 210 \text{ Kg/cm}^2$$

$$c = 20 \text{ cm}$$

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$C = 0,85 * f'_c * (0,85 * c) * b$$

$$C = 0,85 * 210 \text{ Kg/cm}^2 * (0,85 * 20) * 20 = 60690 \text{ Kg, si cumple la sección}$$

En el cálculo anterior no se tomó en cuenta el acero en compresión, por lo tanto es un resultado conservador.

Cálculo del acero longitudinal

$$T = 17210 \text{ Kg}$$

$$f_y = 2800 \text{ Kg/cm}^2$$

$$A_s = \frac{T}{0,9 * f_y}$$

$$A_s = \frac{17210}{0,9 * 2800} = 6,83 \text{ cm}^2$$

Con 4 varillas #5, $A_s = 8 \text{ cm}^2$

Revisión del ρ_g , debe cumplirse que:

La razón entre el área total de armadura y la sección transversal de la columna, debe ser mayor que 0,01 y menor que 0,06, es decir:

$$1\% < \rho_g < 6\%$$

Para el caso de 4 #5, $A_s = 8 \text{ cm}^2$, **el $\rho_g = 0,02 = 2\%$** , si cumple.

Confinamiento de los elementos de borde

Según los requisitos de ductilidad local óptima, de la sección 9.9.6 del borrador del CSCR-10, se debe colocar como mínimo el siguiente confinamiento en los elementos verticales de **concreto: " Cuando el esfuerzo máximo en compresión, calculado para las cargas factorizadas y las cargas de sismo en su condición más crítica con un modelo linealmente elástico y las propiedades de la sección bruta, sea menor que $0.20 f'_c$ se deben usar aros #3 a cada 10 cm para edificios de más de dos pisos".**

Analizando las diferentes combinaciones de carga, en la combinación 3 es en la que existe el mayor refuerzo de compresión,

$$C = \frac{2419 \text{ kg}}{2} + 18305 \text{ Kg} = 19515 \text{ Kg}$$

Área de las columnas con sección transformada

$$m = \frac{E_c}{E_m} = \frac{15100 * \sqrt{f'_c}}{750 f'_m}$$

$$m = \frac{E_c}{E_m} = \frac{15100 * \sqrt{210 \text{ Kg/cm}^2}}{750 * 100 \text{ kg/cm}^2}$$

$$m = 2,917 * 20 \text{ cm} = 58,3 \text{ cm}$$

$$\frac{19515 \text{ Kg}}{(58,3 * 20) \text{ cm}} = 16,7 \text{ Kg/cm}^2$$

que es menor a 42 kg/cm^2 que correspondiente a $0.20 f'_c$ con un f'_c de 210 kg/cm^2 .

Por lo que se utilizó aros #3 a cada 10 cm, para cumplir con los requisitos de ductilidad óptima.

D.3 Diseño del paño de mampostería

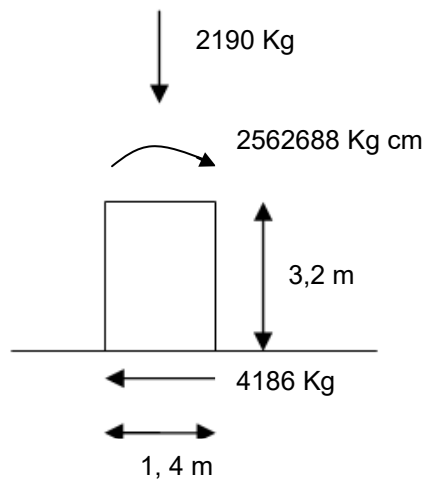


Figura 92. Fuerzas en el muro

Hasta el momento la propuesta de armado del muro es la siguiente:

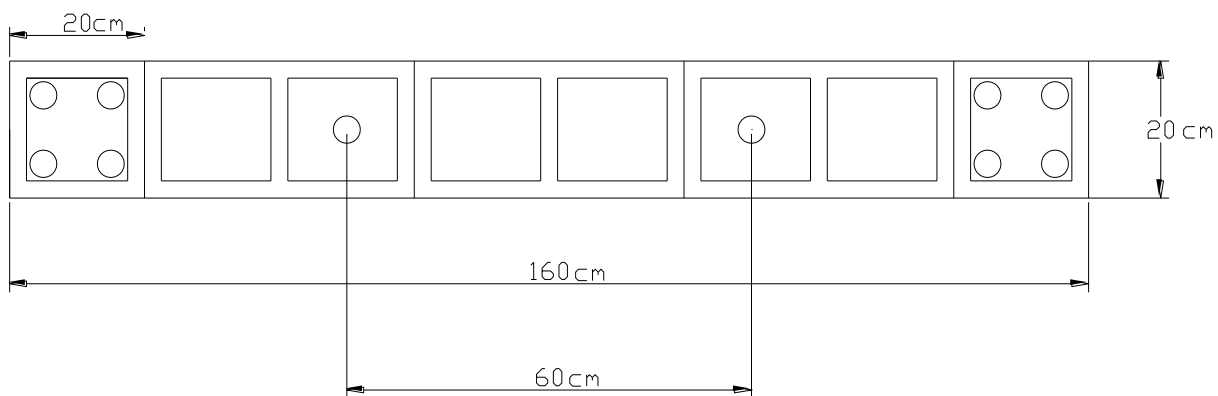


Figura 93. Propuesta de refuerzo para los muros Confinados

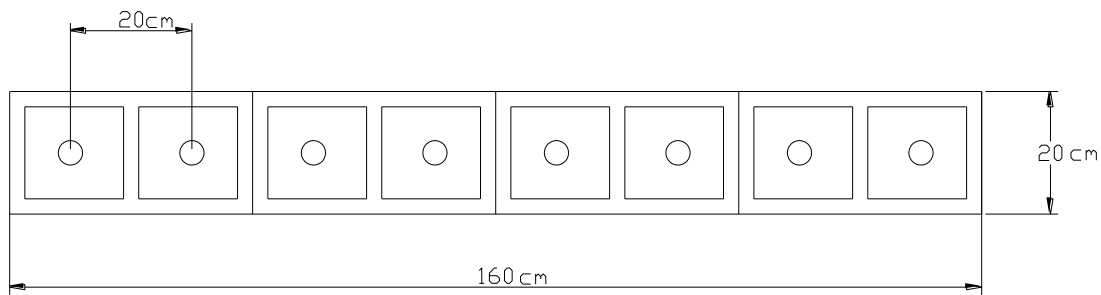


Figura 94. Propuesta de refuerzo para los muros Integrales.

En los muros confinados los elementos confinantes son de 20 cm x 20 cm, con 4 varillas #5 y aros #3 @ 10 cm.

En el paño de mampostería para los muros integrales, el acero vertical se encuentra a cada 20 cm, como se supuso al inicio del diseño para el cálculo del peso propio del muro.

Diseño a flexo compresión

Como se indica en la sección 9.9.4, Muros de mampostería con bordes de concreto, del borrador del CSCR-10, este tipo de muros deben diseñarse conforme al artículo 9.7 (excepto en los criterios para definir la ductilidad local óptima), del mismo CSCR, en donde se enuncia el análisis para muros con cargas paralelas a su plano, que son los muros integrales. Por consiguiente el diseño es igual para ambos.

Como lo que se anda buscando es la comparación entre ambos muros es decir, confinados e integrales, la metodología que se utilizó es el diseño de los muros integrales **y con el ϕM_n** que se obtiene se diseñan los muros confinados, esto para obtener capacidades comparables a la hora de la falla y análisis.

Para muros rectangulares y con distribución uniforme de acero el CSCR propone alternativamente que se pueden diseñar utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\beta = \frac{P_n}{t * l_w * f'_c}$$

$$P_u = 2034 \text{ Kg}$$

$$\phi = 0,8$$

$$P_n = 2542,5 \text{ Kg}$$

$$l_w = 160 \text{ cm}$$

$$t = 20 \text{ cm}$$

$$\beta = 0,007945$$

$$\alpha = \frac{A_s * f_y}{t * l_w * f'_c}$$

$$A_s f_y = 44800 \text{ Kg (8 \# 5 @ 20 cm)}$$

$$\alpha = 0,14$$

$$\frac{c}{l} = \frac{\alpha + \beta}{2\alpha + 0,72}$$

$$\frac{c}{l} = 0,1479$$

$$M_n = \frac{A_s * f_y * l_w}{2} * \left[1 + \frac{P_n}{A_s * f_y} \right] * \left[1 - \frac{c}{l} \right]$$

$$M_n = 3227071,9 \text{ kg cm}$$

$$\phi M_n = 2581658 \text{ kg cm}$$

$$\phi M_n > M_u = 2562688 \text{ Kg cm}$$

Usar 1#5 @ 20 cm

Ahora se procede a diseñar el muro de los muros confinados, transformando la sección de concreto en mampostería con el modulo de transformación entre los dos materiales, y **aunque el "a" queda dentro de la sección rectangular (lo que asegura cumplimiento de la ductilidad óptima como se supuso al inicio del diseño)** se van a utilizar las ecuaciones de la 9.27 a la 9.32 del borrador del CSCR del 2010.

$$a = \left[\frac{P_n + 0,5 \sum_{i=1}^{i=j} A_{si} f_y}{0,85 * f'_m * t} \right], \text{ ecuación [9-27] borrador del CSCR del 2010}$$

$$\sum A_s f_y = 50960 \text{ Kg}$$

$$P_u = 2304 \text{ Kg}$$

$$\phi = 0,8$$

$$P_n = 2880 \text{ Kg}$$

$$f'_m = 100 \text{ Kg/cm}^2$$

$$t = 20 \text{ cm}$$

$$a = 16,7 \text{ cm (comportamiento rectangular)}$$

$$c = \frac{a}{0,85}, \text{ ecuación [9-28] borrador del CSCR del 2010}$$

$$c = 19,6 \text{ cm}$$

$$C_m = 0,85 f'_m t a, \text{ ecuación [9-29] borrador del CSCR del 2010}$$

$$C_m = 28360 \text{ Kg}$$

$$C_s = \sum_{i=1}^{i=j} A_{si} f_y, \text{ ecuación [9-30] borrador del CSCR del 2010}$$

Con este "a" corresponde a un bloque a compresión de 19,6 cm. Con el eje neutro en esta posición, se tienen 4 varillas #5 en compresión y 2 varillas #5 y 4 varillas #5 en tensión.

$$C_s = 15211,9 \text{ Kg}$$

$$T = \sum_{j+1}^n A_{s_j} f_y, \text{ ecuación [9-31] borrador del CSCR del 2010}$$

$$T = 31080 \text{ Kg}$$

$$C_m + C_s - T = P_n, \text{ ecuación [9-31] borrador del CSCR del 2010}$$

Se considera aceptable una diferencia de hasta el 10%.

$$C_m + C_s - T = 12491,9 \text{ Kg}$$

Diferencia del 333,7 %

Como no cumple con la diferencia del 10% como máximo, de debe realizar un proceso iterativo para obtener un "a" que haga que cumpla esta diferencia.

Se supone un "a",

$$a = 13,5 \text{ cm (comportamiento rectangular)}$$

$$c = \frac{a}{0,85}, \text{ ecuación [9-28] borrador del CSCR del 2010} \quad c = 15,9 \text{ cm}$$

$$C_m = 0,85 f'_m t a, \text{ ecuación [9-29] borrador del CSCR del 2010}$$

$$C_m = 22950 \text{ Kg}$$

$$C_s = \sum_{i=1}^{i=j} A_{s_i} f_y, \text{ ecuación [9-30] borrador del CSCR del 2010}$$

Con este "a" corresponde a un bloque a compresión de 15,9 cm. Con el eje neutro en esta posición, se tienen 4 varillas #3 en compresión, 4 varillas #5 y 4 varillas #3 en tensión.

$$C_s = 11182,5 \text{ Kg}$$

$$T = \sum_{j+1}^n A_{si} f_y, \text{ ecuación [9-31] borrador del CSCR del 2010}$$

$$T = 31080 \text{ Kg}$$

$$C_m + C_s - T = P_n, \text{ ecuación [9-31] borrador del CSCR del 2010}$$

Se considera aceptable una diferencia de hasta el 10%.

$$C_m + C_s - T = 3052,5 \text{ Kg}$$

Diferencia del 5,98 %, si cumple

$$M_n = C_m * \left[c - \frac{a}{2} \right] + \sum_{i=1}^n A_s * f_y * (c - x) + P_n \left(\frac{l_w}{2} - c \right)$$

$$M_n = 3887889,7 \text{ kg cm}$$

$$\phi M_n = 3110312 \text{ Kg cm}$$

$$\phi M_n > M_u = 2562688 \text{ Kg cm}$$

Usar 2#5 @ 60 cm.

D.4 Diseño a cortante

Según los requisitos de ductilidad local óptima, de la sección 9.9.6 del borrador del CSCR del 2010 debe revisarse el cortante para: 1,5 de la capacidad a flexión de la sección y para 1,8 del valor del cortante indicado por el análisis. El muro debe diseñarse para el valor menos de los dos anteriores.

- 1,5 de la capacidad del cortante

Es el cortante correspondiente al momento de diseño calculado para una resistencia del acero de $1,25 f_y$ y sin utilizar el factor de reducción de la resistencia nominal.

$$V = 20\,500 \text{ Kg}$$

- 1,8 del valor del cortante del análisis

El cortante del análisis es $V_u = 4186 \text{ kg}$

$V_u = 7535 \text{ Kg}$, este es el valor que debe usarse para el diseño por ser el valor menor.

$$V_u = \phi V_n, \text{ ecuación [9-21] borrador del CSCR-10}$$

$$V_{mn} = V_m + V_s, \text{ ecuación [9-22] borrador del CSCR-10}$$

$$V_m = \left\{ \left[1 - 0,44 * \left(\frac{Mu}{Vu*d} \right) \right] * \sqrt{f'm} + 0,25 \left(\frac{Pu}{Ag} \right) \right\} * (db_w), \text{ ecuación [9-24] borrador del CSCR-10}$$

Diseño para los muros integrales:

$$M_u = 2562688 \text{ Kg cm}$$

$$V_u = 7535 \text{ Kg}$$

$$d = 0,8 * 160 \text{ cm} = 128 \text{ cm}$$

$$\frac{M_u}{V_u * d} = 2,66 > 1$$

El valor ($M_u/V_u d$) no debe tomarse mayor que 1.0 y debe considerarse como un número positivo y a dimensional, por lo que se va a utilizar 1.

$$P_u = 2190 \text{ Kg}$$

$$A_g = 160 \text{ cm} * 20 \text{ cm} = 3200 \text{ cm}^2$$

$$\frac{P_u}{A_g} = 0,684 \text{ Kg/cm}^2$$

Por ser mampostería totalmente rellena en el caso de los muros integrales se debe de utilizar:

$$b_w = 20 \text{ cm, espesor del muro.}$$

Por lo tanto,

$$V_m = \{[1 - 0,44 * (1)] * \sqrt{100} + 0,25 (0,684)\} * (128 * 20),$$

$$V_m = 14774 \text{ Kg}$$

Como el refuerzo horizontal no se encuentra totalmente embebido en concreto en toda su longitud, se debe utilizar la mitad del valor obtenido, por lo que el valor de V_m a utilizar es,

$$V_m = 7387 \text{ Kg}$$

$$V_u = \phi V_n$$

$$7535 \text{ Kg} = 0,6 * (7387 \text{ Kg} + V_s)$$

Despejando V_s ,

$$V_s = 5171 \text{ Kg}$$

Se requiere que el acero horizontal resista una carga de 5171 Kg.

En los requisitos para la ductilidad local óptima del CSCR, en la sección 9.9.6, se propone usar una separación máxima del refuerzo horizontal en la zona de formación de rótulas plásticas de 40 cm en edificios de hasta tres pisos. Esta es la separación que se utiliza en el muro a estudiar.

Entonces el acero requerido es:

$$A_{sh} = \frac{V_s * s_h}{0,5 * d * f_y}, \text{ ecuación [9-23] borrador del CSCR del 2010}$$

$$A_{sh} = \frac{5171 \text{ kg} * 40 \text{ cm}}{0,5 * 128 \text{ cm} * 2800 \text{ kg/cm}^2}$$

$$A_{sh} = 1,15 \text{ cm}^2$$

Con $s_h = 20 \text{ cm}$

$$A_{sh} = \frac{5171 \text{ kg} * 20 \text{ cm}}{0,5 * 128 \text{ cm} * 2800 \text{ kg/cm}^2}$$

$$A_{sh} = 0,58 \text{ cm}^2$$

Se propone utilizar 1# 3 @ 20 cm (1 hiladas)

Diseño para los muros confinados:

$$M_u = 2562688 \text{ Kg cm}$$

$$V_u = 7535 \text{ Kg}$$

$$d = 0,8 * 160 \text{ cm} = 128 \text{ cm}$$

$$\frac{Mu}{Vu*d} = 2,66 > 1$$

El valor (Mu/Vud) no debe tomarse mayor que 1.0 y debe considerarse como un número positivo y a dimensional, por lo que se va a utilizar 1.

$$Pu = 2190 \text{ Kg}$$

Sección transformada:

$$n = \frac{Ec}{Em} = \frac{15100 * \sqrt{210} \text{ Kg/cm}^2}{750 * 100 \text{ Kg/cm}^2} = 2,92$$

$$\text{espesor de las columnas} = 20 \text{ cm} * 2,92 = 58,4 \text{ cm}$$

$$Ag = 120 \text{ cm} * 20 \text{ cm} + 40 \text{ cm} * 58,4 \text{ cm} = 4736 \text{ cm}^2$$

$$\frac{Pu}{Ag} = 0,462 \text{ Kg/cm}^2$$

Por ser mampostería parcialmente rellena y con columnas en concreto se va a utilizar un valor de b_w promediado con la sección transformada de las columnas:

$$b_w = 27 \text{ cm}$$

Por lo tanto,

$$Vm = \{ [1 - 0,44 * (1)] * \sqrt{100} + 0,25 (0,462) \} * (128 * 27),$$

$$Vm = 19753 \text{ Kg}$$

Como el refuerzo horizontal no se encuentra totalmente embebido en concreto en toda su longitud, se debe utilizar la mitad del valor obtenido, por lo que el valor de Vm a utilizar es,

$$Vm = 9877 \text{ Kg}$$

$$Vu = \phi Vn$$

$$7535 \text{ Kg} = 0,6 * (9877 \text{ Kg} + Vs)$$

Despejando V_s ,

$$V_s = 2681 \text{ Kg}$$

Se requiere que el acero horizontal resista una carga de 2681 Kg.

En los requisitos para la ductilidad local óptima del CSCR, en la sección 9.9.6, se propone usar una separación máxima del refuerzo horizontal en la zona de formación de rótulas plásticas de 40 cm en edificios de hasta tres pisos. Esta es la separación que se utiliza en el muro a estudiar.

Entonces el acero requerido es:

$$A_{sh} = \frac{V_s * S_h}{0,5 * d * f_y}, \text{ ecuación [9-23] borrador del CSCR del 2010}$$

$$A_{sh} = \frac{2681 \text{ kg} * 40 \text{ cm}}{0,5 * 128 \text{ cm} * 2800 \text{ kg/cm}^2}$$

$$A_{sh} = 0,60 \text{ cm}^2$$

Se propone utilizar 1# 3 @ 40 cm (2 hiladas)

D.5 Revisión del acero mínimo

Se realizan los cálculos de acero mínimo requerido por metro

$$A_s, \text{ mínimo total} = 0,002 b t = 4 \text{ cm}^2$$

$$A_{s, \text{ mínimo en 1 dirección}} = 0,0007 b t = 1,4 \text{ cm}^2$$

$$A_s \text{ vertical (muros integrales)} = 1\#5 @ 20 \text{ cm} = 10 \text{ cm}^2 > 1,4 \text{ cm}^2, \text{ si cumple}$$

$$A_s \text{ vertical (muros confinados, tomar posición más crítica)} = 1\#5 @ 60 \text{ cm} = 3,33 \text{ cm}^2 > 1,4 \text{ cm}^2, \text{ si cumple}$$

$$A_s \text{ horizontal (muros integrales)} = 1\#3 @ 20 \text{ cm} = 3,55 \text{ cm}^2 > 1,4 \text{ cm}^2, \text{ si cumple}$$

$$A_s \text{ horizontal (muros confinados)} = 1\#3 @ 40 \text{ cm} = 1,78 \text{ cm}^2 > 1,4 \text{ cm}^2, \text{ si cumple}$$

$$A_s \text{ vertical} + A_s \text{ horizontal (muros integrales)} = 13,55 \text{ cm}^2 > 4 \text{ cm}^2, \text{ si cumple}$$

$$A_s \text{ vertical} + A_s \text{ horizontal (muros confinados)} = 5,11 \text{ cm}^2 > 4 \text{ cm}^2, \text{ si cumple}$$

D.6 Revisión de requisitos para ductilidad local óptima

Sección 9.9.6 del borrador del CSCR-10, se encuentran los requisitos para cumplir con la ductilidad local óptima.

La extensión vertical de la zona potencial de formación de la rotula plástica desde la sección crítica debe ser la mayor entre:

- La longitud del muro en el plano de las fuerzas sísmicas, $l_w = 320$ cm
- Una sexta parte del claro libre $L_n = 26,7$ cm
- 80 cm.

Rige l_w , como el muro es de 320 cm de altura, puede decirse conservadoramente que toda su altura es zona potencial de formación de rotula plástica

ANEXO E. Datos obtenidos de las pruebas realizadas al alambre galvanizado

Al alambre galvanizado se le deben de desarrollar ensayos a tensión para verificar su cumplimiento del modulo de elasticidad, esfuerzo de fluencia y el esfuerzo de la falla. Para esta verificación se desarrollaron las pruebas tomando 2 muestras del alambre #12 e igualmente 2 muestras del alambre #16, estas pruebas se realizaron en la máquina de ensayos Universal Testing Machine, con la que cuenta LanammeUCR.

En las Figuras 95, 96, 97 y 98 se muestran los gráficos de carga- posición y de esfuerzo deformación de las 2 muestra ensayadas por cada tipo de alambre galvanizado.

Alambre Galvanizado #12 (Varilla prototipo #5)

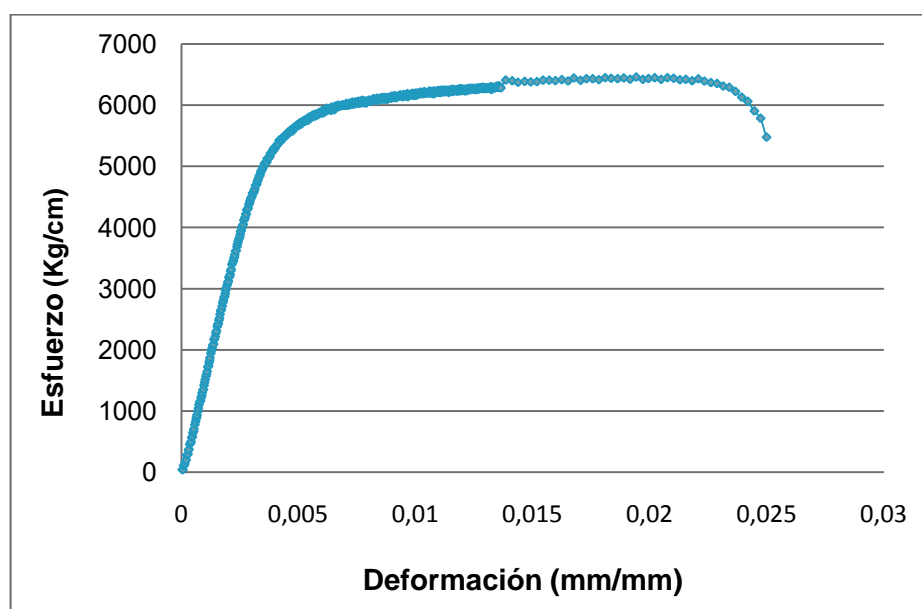


Figura 95. Gráfico de comportamiento de la primera muestra del alambre #12

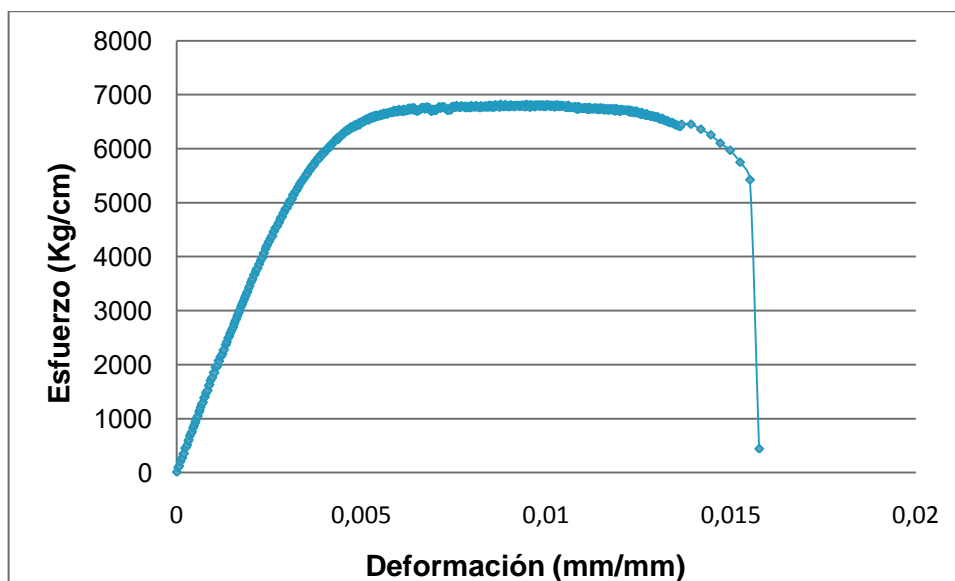


Figura 96. Gráfico de comportamiento de la segunda muestra del alambre #12

Alambre Galvanizado #16 (Varilla #3 en escala natural)

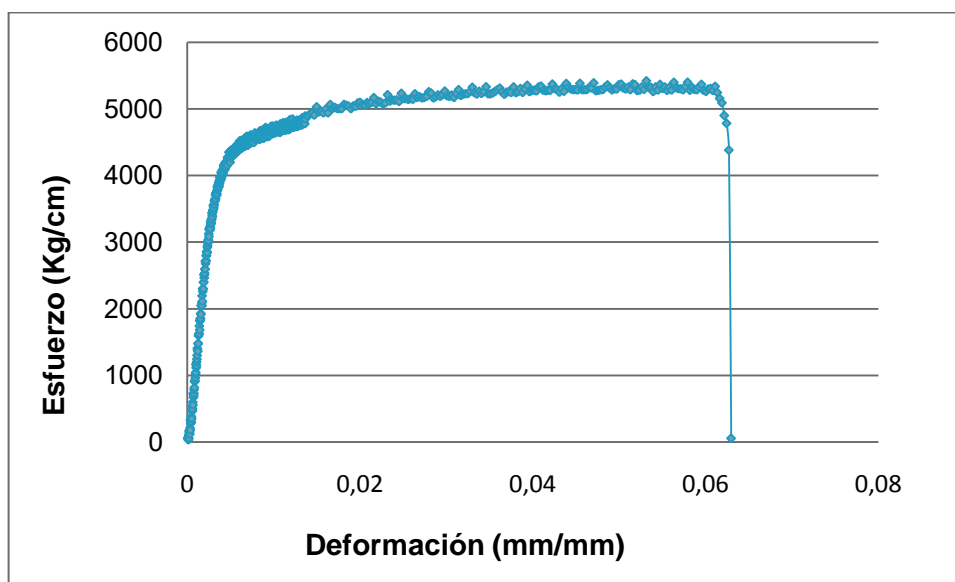


Figura 97. Gráfico de comportamiento de la primera muestra del alambre #16

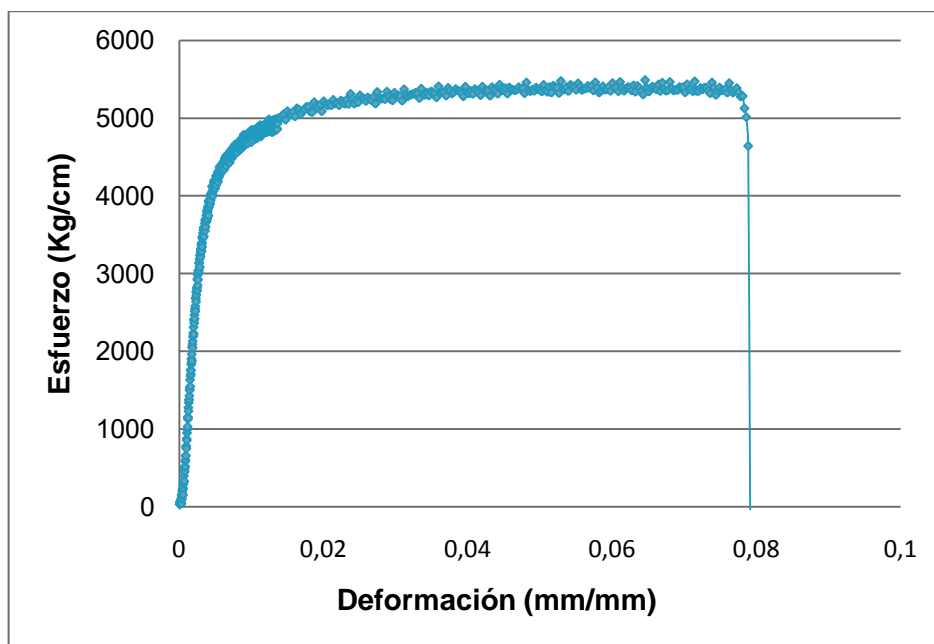


Figura 98. Gráfico de comportamiento de la segunda muestra del alambre #16

ANEXO F. Aros de confinamiento

Del Paulay, M. J. N. Priestley, en la sección de muros de mampostería, se muestra como obtener el área de las placas de confinamiento que se le deben de proporcionar a los muros integrales para que estos cumplan con ductilidad local óptima.

Primero se obtuvo el área a escala natural correspondiente a una placa, con la ecuación siguiente:

$$A_p = 0,004 * s_h * h''$$

Donde,

s_h = espaciamento vertical de confinamiento

h'' = dimensión lateral de confinamiento

En la Figura 99 se muestra el valor del espaciamento vertical, la dimensión lateral y el diámetro de la varilla prototipo #3 utilizada para la fabricación de los aros de confinamiento.



Figura 99. Gráfico del corte de la placa y aro de confinamiento

se propone utilizar un $s_h = 0,8$ cm y un $h'' = 20$ cm

$$A_p = 0,004 * 0,8 * 20 = 0,064 \text{ cm}^2$$

Por limitante de mercado y de construcción a escala reducida se va a utilizar aros de confinamiento en vez de placas, como se muestra en la Figura E.1 el área obtenida de la placa debe de ser dividida en 2, ya que el corte transversal del aro deja por resultado dos extremos de acero.

$$A_{p, \text{aro}} = \frac{0,064}{2} = 0,032 \text{ cm}$$

Ahora se procede a pasar este valor a escala reducida.

$$A_{p, \text{aro}} = \frac{0,032}{6} = 0,00533 \text{ cm}$$

El área del alambre #12, que es el utilizado para realizar los aros es el siguiente.

$$\Phi = 1,58 \text{ mm} = 0,158 \text{ cm}$$

$$\text{Area} = \frac{\Phi^2 * \pi}{4} = \frac{0,158^2 * \pi}{4} = 0,0196 \text{ cm} > 0,00533 \text{ cm}$$

Se concluye que los aros de alambre galvanizado #12 cumplen con el requisito del área, por lo que el diámetro en si del aro se va a escoger por facilidad constructiva y de colocación a la hora de la pega de bloques.

ANEXO G. Determinación de las cargas de falla de los muros en escala reducida

En este anexo se presentan las capacidades máximas a las que tendrá que estar sometidos los muros en el momento de su falla individual a flexión.

Falla a flexión

Muros confinados

En el anexo D se determina la capacidad máxima a flexión de los muros confinados que es de 3.887.890 kg cm esto en su escala natural, para obtener la carga que este momento genera en el muro se debe dividir entre la distancia vertical de la base del muro al punto de aplicación de la carga, a la hora de la falla.

Esta carga se aplica en la viga corona por lo que tomamos el centro de esta como el punto de aplicación, por lo tanto la distancia desde la base del muro es de 300 cm.

$$\frac{3.887.890 \text{ kg cm}}{300 \text{ cm}} = 12.960 \text{ kg}$$

La carga anterior se mantiene igual en escala natural, por lo que se debe de convertir a escala natural de la siguiente forma:

Carga* (*factor de escala*)²

$$12.960 \text{ kg} * \left(\frac{1}{6}\right)^2 = 360 \text{ Kg}$$

Muros Integrales

En el anexo D se determina la capacidad máxima a flexión de los muros integrales que es de 3.227.072 kg cm esto en su escala natural, para obtener la carga que este momento genera en el muro se debe dividir entre la distancia vertical de la base del muro al punto de aplicación de la carga monotonicamente creciente a la hora de la falla.

Esta carga se aplica en la viga corona por lo que tomamos el centro de esta como el punto de aplicación, por lo tanto la distancia desde la base del muro es de 300 cm.

$$\frac{3.277.072 \text{ kg cm}}{300 \text{ cm}} = 10.924 \text{ kg}$$

La carga anterior se mantiene igual en escala natural, por lo que se debe de convertir a escala natural de la siguiente forma:

$$\text{Carga} * (\text{factor de escala})^2$$

$$10.924 \text{ kg} * \left(\frac{1}{6}\right)^2 = 303,4 \text{ Kg}$$

ANEXO H. Datos experimentales obtenidos de la falla de los modelos estructurales

En este anexo se presentan los datos obtenidos de cada una de las fallas de los muros y sus respectivas curvas de carga- desplazamiento.

En los cuadros 46, 47, 48 y 49 se presentan los datos experimentales de los muros ensayados. Las últimas tres columnas corresponden al desplazamiento horizontal total. Este es la diferencia entre el desplazamiento 3 y el 1, que muestra el desplazamiento neto que tuvo el paño de mampostería.

Muro Integral 1

Cuadro 46. Datos experimentales del muro integral 1

carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 3$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\Delta 4$	$\Delta 4$	Desplaz. horizontal total		
0	0,00	0,04	0,06	0,000	0,066	0,108	0,00	0,26	0,48	0,000	0,104	0,156	0,00	0,22	0,42
10	0,00	0,04	0,06	0,016	0,066	0,108	0,09	0,27	0,48	0,000	0,104	0,156	0,09	0,23	0,42
20	0,00	0,04	0,06	0,026	0,068	0,116	0,10	0,28	0,50	0,000	0,104	0,156	0,10	0,24	0,44
30	0,00	0,04	0,06	0,050	0,090	0,136	0,18	0,37	0,59	0,000	0,104	0,156	0,18	0,33	0,53
40	0,00	0,04	0,06	0,068	0,110	0,156	0,26	0,45	0,66	0,002	0,104	0,156	0,26	0,41	0,60
50	0,02	0,04	0,07	0,092	0,132	0,176	0,27	0,52	0,75	0,040	0,104	0,156	0,25	0,48	0,68
60	0,03	0,04	0,08	0,116	0,148	0,194	0,48	0,62	0,84	0,066	0,108	0,176	0,45	0,58	0,76
70	0,05	0,06	0,10	0,134	0,162	0,208	0,56	0,68	0,91	0,092	0,126	0,192	0,51	0,62	0,81
80	0,07	0,07	0,11	0,156	0,176	0,228	0,67	0,76	1,02	0,126	0,144	0,220	0,60	0,69	0,91
90	0,08	0,08	0,12	0,176	0,190	0,240	0,71	0,83	1,09	0,154	0,164	0,240	0,63	0,75	0,97
100	0,10	0,09	0,13	0,198	0,202	0,256	0,88	0,91	1,16	0,184	0,186	0,254	0,78	0,82	1,03
110		0,11	0,14		0,220	0,270		1,01	1,25		0,220	0,284		0,90	1,11
120		0,12	0,16		0,240	0,280		1,12	1,32		0,250	0,304		1,00	1,16
130		0,14	0,17		0,258	0,294		1,20	1,39		0,280	0,326		1,06	1,22
140		0,15	0,18		0,274	0,304		1,29	1,49		0,304	0,352		1,14	1,31
150		0,17	0,19		0,288	0,316		1,39	1,55		0,340	0,378		1,22	1,36
160		0,19	0,20		0,308	0,326		1,51	1,62		0,382	0,400		1,32	1,42
170		0,20	0,21		0,322	0,342		1,59	1,72		0,400	0,434		1,39	1,51
180		0,21	0,22		0,342	0,358		1,70	1,80		0,444	0,462		1,49	1,58
190		0,23	0,24		0,358	0,372		1,81	1,84		0,472	0,492		1,58	1,60

200		0,24	0,25		0,374	0,382		1,92	1,48		0,514	0,524		1,68	1,23
210			0,26			0,396			2,06			0,550			1,80
220			0,27			0,418			2,18			0,590			1,91
230			0,28			0,430			2,26			0,624			1,98
240			0,30			0,452			2,42			0,660			2,12
250			0,32			0,462			2,65			0,718			2,33
260			0,32			0,486			2,73			0,740			2,41
270			0,34			0,502			2,86			0,782			2,52
280			0,35			0,522			3,01			0,832			2,66
290			0,36			0,562			3,13			0,862			2,77
300			0,38			0,660			3,35			0,922			2,97
350			0,44			0,766			4,09			1,162			3,65
400			0,52			0,896			4,48			1,462			3,96
450			0,62			0,896			6,21			1,884			5,59
500			0,74			1,088			8,00			2,544			7,26
550			0,88			1,312			10,37			3,538			9,49
575			0,98			1,454			18,56			7,650			17,58

En la Figura 100 se presenta la curva carga- desplazamiento del muro integral #1, obtenida de los datos experimentales anteriores.

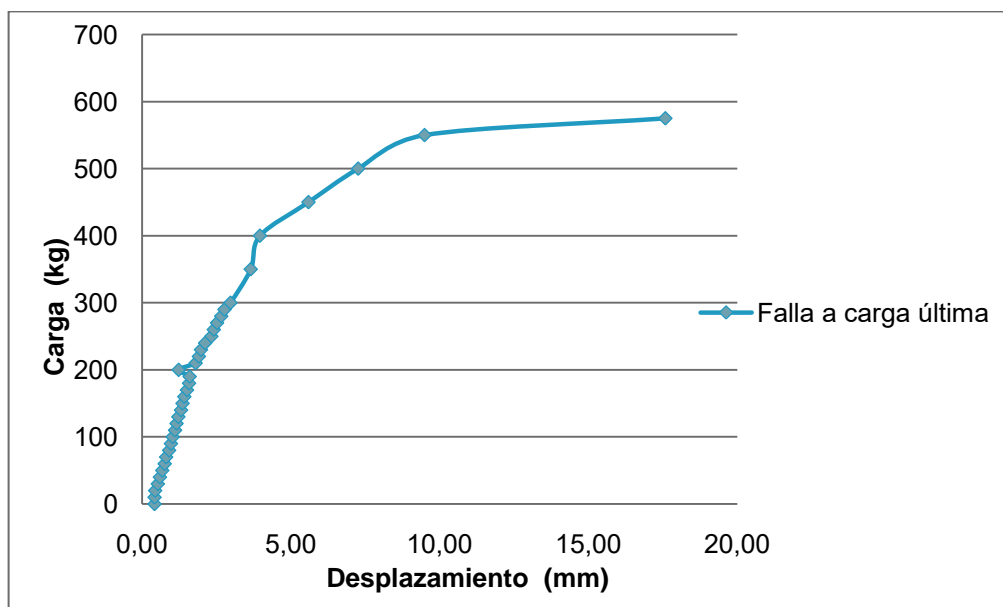


Figura 100. Curva carga- desplazamiento del muro integral #1.

Muro Integral 2**Cuadro 47.** Datos experimentales del muro integral 2

carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 3$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\Delta 4$	$\Delta 4$	Desplaz. Horizontal total		
0	0,00	0,00	0,02	0,000	0,020	0,076	0,00	0,03	0,32	0,000	0,020	0,086	0,00	0,03	0,30
20	0,00	0,00	0,02	0,040	0,040	0,108	0,06	0,04	0,32	0,000	0,020	0,086	0,06	0,04	0,30
40	0,00	0,00	0,02	0,040	0,070	0,114	0,06	0,12	0,34	0,000	0,020	0,086	0,06	0,12	0,32
60	0,00	0,00	0,02	0,040	0,068	0,136	0,06	0,13	0,48	0,000	0,020	0,086	0,06	0,13	0,46
80	0,00	0,00	0,02	0,050	0,086	0,162	0,09	0,21	0,55	0,000	0,020	0,086	0,09	0,21	0,53
100	0,00	0,00	0,02	0,068	0,880	0,190	0,14	0,26	0,74	0,000	0,020	0,120	0,14	0,26	0,72
120	0,00	0,00	0,02	0,086	0,106	0,202	0,21	0,32	0,84	0,000	0,032	0,142	0,21	0,32	0,82
140	0,00	0,00	0,02	0,104	0,126	0,222	0,29	0,42	0,97	0,000	0,058	0,174	0,29	0,42	0,95
160	0,00	0,00	0,02	0,128	0,136	0,250	0,44	0,46	1,22	0,054	0,059	0,218	0,44	0,46	1,20
180		0,00	0,02		0,162	0,266		0,60	1,32		0,098	0,232		0,60	1,30
200		0,01	0,04		0,194	0,292		0,80	1,48		0,123	0,266		0,79	1,44
220		0,04	0,06		0,222	0,312		0,97	1,65		0,160	0,304		0,93	1,59
240		0,05	0,07		0,260	0,332		1,21	1,80		0,218	0,344		1,16	1,73
260		0,08	0,09		0,294	0,354		1,58	1,96		0,274	0,386		1,50	1,87
280		0,11	0,11		0,342	0,388		1,79	2,18		0,342	0,434		1,68	2,07
300		0,14	0,13		0,372	0,414		2,04	2,38		0,400	0,476		1,90	2,25
320		0,15	0,17		0,414	0,438		2,31	2,56		0,456	0,518		2,16	2,39
340		0,17	0,19		0,448	0,468		2,66	2,79		0,528	0,574		2,49	2,60
360			0,19			0,504			3,06			0,634			2,87
380			0,22			0,550			3,45			0,728			3,23
400			0,23			0,590			3,73			0,802			3,50
420			0,26			0,634			4,06			0,888			3,80
440			0,27			0,674			4,36			0,988			4,09
460			0,30			0,736			4,98			1,102			4,68
480			0,33			0,794			5,37			1,244			5,04
500			0,35			0,858			5,91			1,396			5,56
550			0,41			1,030			7,47			1,846			7,06
600			0,46			1,158			10,19			2,818			9,73

En la Figura 101 se presenta la curva carga- desplazamiento del muro integral #2, obtenida de los datos experimentales anteriores.

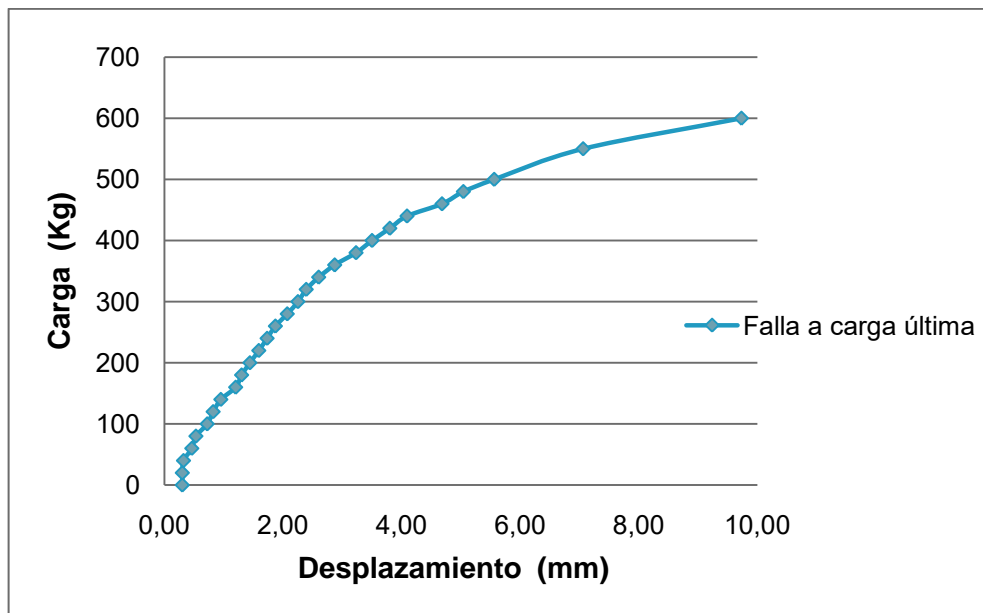


Figura 101. Curva carga- desplazamiento del muro integral 2.

Muro Confinado 1

Cuadro 48. Datos experimentales del muro confinado 1

carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 3$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\Delta 4$	$\Delta 4$	Desplaz horizontal total		
0	0,00	0,06	0,09	0,000	0,014	0,026	0,000	0,050	0,140	0,000	0,030	0,044	0,00	0,00	0,05
20	0,00	0,06	0,09	0,000	0,014	0,026	0,000	0,050	0,140	0,000	0,030	0,044	0,00	0,00	0,05
40	0,02	0,06	0,09	0,004	0,014	0,032	0,020	0,070	0,240	0,000	0,030	0,044	0,00	0,01	0,15
60	0,03	0,06	0,09	0,012	0,014	0,034	0,100	0,130	0,320	0,000	0,030	0,044	0,07	0,07	0,23
80	0,05	0,06	0,09	0,016	0,020	0,034	0,210	0,240	0,330	0,002	0,030	0,044	0,16	0,18	0,24
100	0,06	0,06	0,09	0,022	0,024	0,038	0,300	0,330	0,420	0,010	0,030	0,044	0,24	0,27	0,33
120	0,07	0,07	0,09	0,030	0,032	0,044	0,410	0,420	0,520	0,024	0,030	0,044	0,34	0,35	0,43
140		0,09	0,09		0,038	0,052		0,560	0,670		0,052	0,070		0,47	0,58
160		0,10	0,10		0,048	0,058		0,700	0,800		0,076	0,096		0,60	0,70
180		0,13	0,13		0,054	0,068		0,860	0,910		0,104	0,118		0,73	0,78

200		0,14	0,16		0,068	0,076		1,000	1,050		0,132	0,138		0,86	0,89
220		0,17	0,17		0,076	0,080		1,120	1,180		0,152	0,164		0,95	1,01
240		0,18	0,19		0,080	0,082		1,260	1,310		0,182	0,182		1,08	1,12
260			0,20			0,092			1,430			0,208			1,23
280			0,22			0,104			1,610			0,242			1,39
300			0,24			0,116			1,810			0,302			1,57
320			0,26			0,132			2,000			0,360			1,74
340			0,29			0,148			2,260			0,440			1,97
360			0,31			0,156			2,440			0,490			2,13
380			0,35			0,180			2,650			0,546			2,30
400			0,36			0,198			2,900			0,600			2,54
420			0,38			0,210			3,110			0,668			2,73
440			0,41			0,222			3,300			0,720			2,89
460			0,44			0,238			3,560			0,788			3,12
480			0,47			0,258			3,810			0,860			3,34
500			0,50			0,276			4,060			0,932			3,56
550			0,59			0,332			4,830			1,176			4,24
584			0,89			0,456			6,800			2,184			5,91
600			0,94			0,476			7,300			2,398			6,36
650			1,32			0,562			9,600			3,390			8,28
700			1,38			0,624			10,660			3,784			9,28
750			1,48			0,678			11,680			4,150			10,20
800			1,62			0,796			13,260			4,640			11,64
850			1,81			1,140			14,810			5,426			13,00
900			1,96			1,352			16,720			6,110			14,76

En la Figura 102 se presenta la curva carga- desplazamiento del muro confinado #1, obtenida de los datos experimentales anteriores.

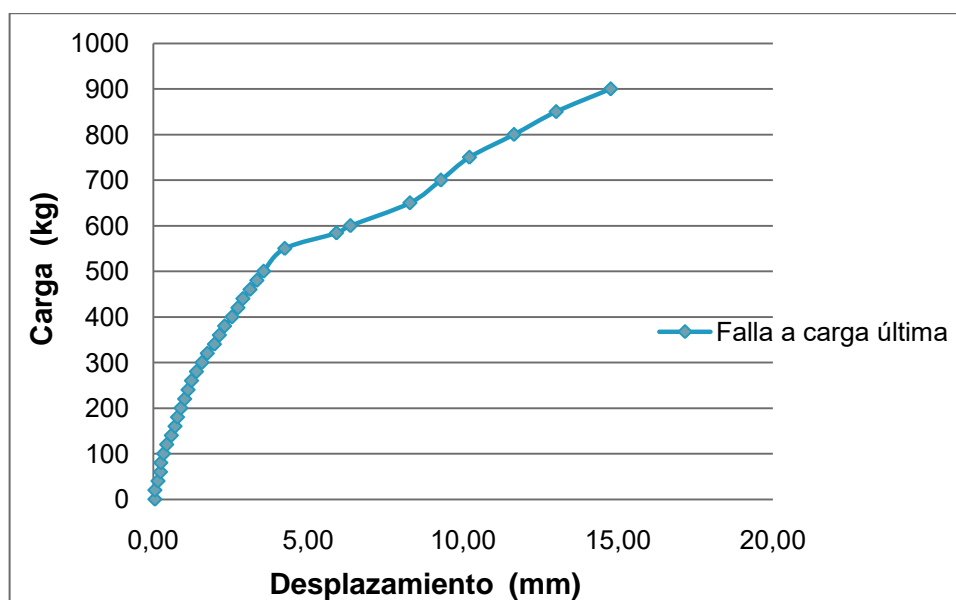


Figura 102. Curva carga- desplazamiento del muro confinado 1.

Muro Confinado 2

Cuadro 49. Datos experimentales del muro confinado 2

carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 3$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\Delta 4$	$\Delta 4$	Desplaz horizontal total		
0	0,00	0,02	0,30	0,000	0,040	0,136	0,000	0,320	1,690	0,000	0,038	0,640	0,00	0,30	1,39
20	0,00	0,02		0,020	0,044		0,040	0,320		0,000	0,030		0,04	0,30	
40	0,00	0,02	0,30	0,024	0,070	0,166	0,040	0,320	1,690	0,000	0,035	0,646	0,04	0,30	1,39
60	0,00	0,02		0,048	0,098		0,070	0,380		0,000	0,086		0,07	0,36	
80	0,00	0,03	0,32	0,068	0,124	0,226	0,120	0,500	1,970	0,000	0,090	0,764	0,12	0,47	1,65
100	0,00	0,04		0,076	0,148		0,130	0,620		0,010	0,120		0,13	0,58	
120	0,03	0,05	0,37	0,124	0,172	0,278	0,140	0,760	2,270	0,048	0,184	0,866	0,11	0,71	1,90
140	0,03	0,08		0,148	0,194		0,440	0,890		0,070	0,202		0,41	0,81	
160	0,05	0,10	0,45	0,164	0,228	0,350	0,560	1,060	2,780	0,106	0,256	1,036	0,51	0,96	2,33
180	0,09	0,13		0,210	0,250		0,740	1,190		0,170	0,304		0,65	1,06	
200	0,12	0,16	0,53	0,246	0,278	0,414	0,860	1,330	3,300	0,230	0,350	1,214	0,74	1,17	2,77
220	0,16	0,22		0,276	0,330		1,080	1,580		0,284	0,448		0,92	1,36	
240	0,19	0,22	0,61	0,312	0,332	0,466	1,280	1,610	3,810	0,350	0,458	1,374	1,09	1,39	3,20
260	0,22	0,26		0,342	0,360		1,440	1,730		0,414	0,508		1,22	1,47	
280	0,26	0,30	0,69	0,372	0,390	0,512	1,680	1,900	4,420	0,494	0,574	1,564	1,42	1,60	3,73
300	0,31	0,33		0,414	0,416		2,040	2,090		0,614	0,644		1,73	1,76	

320		0,38	0,75		0,452	0,550		2,460	4,860		0,772	1,710		2,08	4,11
340		0,41			0,472			2,680			0,850			2,27	
360		0,45	0,82		0,492	0,576		2,970	5,420		0,948	1,924		2,52	4,60
380		0,50			0,518			3,320			1,066			2,82	
400		0,53	0,91		0,538	0,618		3,600	6,140		1,164	2,212		3,07	5,23
420		0,59			0,570			4,050			1,310			3,46	
440		0,65	0,99		0,606	0,654		4,500	6,670		1,456	2,432		3,85	5,68
460		0,68			0,618			4,710			1,534			4,03	
480		0,72	1,07		0,636	0,682		5,020	7,230		1,648	2,660		4,30	6,16
500		0,77			0,672			5,420			1,796			4,65	
550		0,97	1,22		0,734	0,754		6,850	8,190		2,900	3,098		5,88	6,97
600		1,16	1,44		0,806	0,876		8,360	9,070		3,128	3,550		7,20	7,63
650			1,51			0,922			10,440			4,042			8,93
700			1,68			1,060			12,180			4,588			10,50
750			1,80			1,208			13,430			4,992			11,63
800			1,93			1,386			14,990			5,508			13,06
850			2,06			1,612			17,920			6,690			15,86

En la Figura 103 se presenta la curva carga- desplazamiento del muro confinada #2, obtenida de los datos experimentales anteriores.

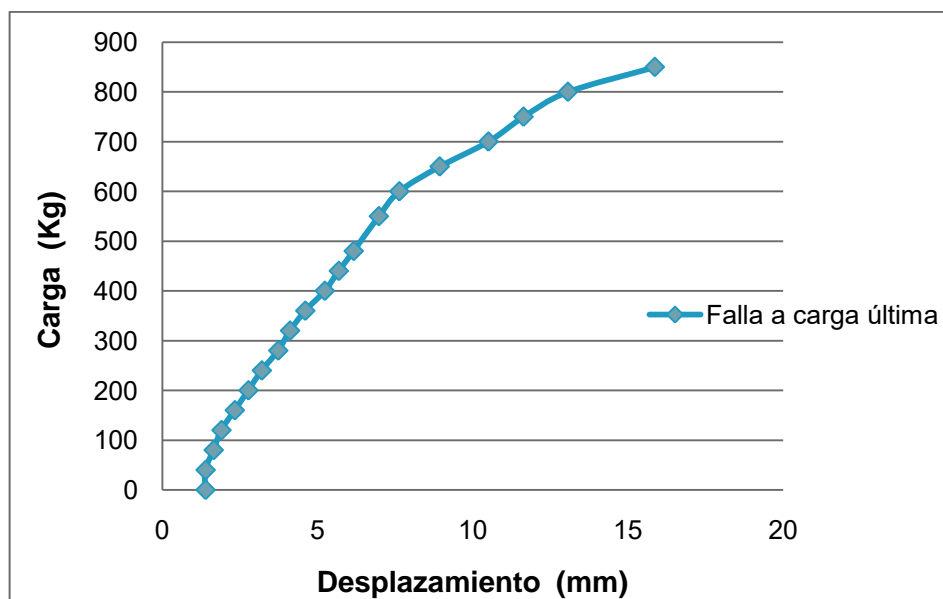


Figura 103. Curva carga- desplazamiento del muro confinado 2.

ANEXO I. Determinación de las ductilidades de los modelos estructurales

En este anexo se determinan las ductilidades de los cuatro muros, con el criterio de áreas equivalentes siguiendo los lineamientos de la norma ASTM E 2126-09.

A continuación se presenta el procedimiento seguido para obtener las ductilidades, donde se requiere tener las curvas de carga- desplazamiento de cada muro de este se encontraran el desplazamiento último y el elástico, ya que el cociente de estos da como resultado la ductilidad del modelo.

I.1 Resumen del procedimiento

1. Obtener el Pmax, que es la carga última que experimento el modelo.
2. Sacar el 0,4 Pmax, esta es la carga máxima a la que se va a proyectar la pendiente para obtener el Ke.
3. Obtener el Ke, es la pendiente del estado elástico de la curva que se muestra en la Figura 104.
4. Obtener Δu , que es la deformación que corresponde a la carga última que experimento el modelo.
5. Sacar el área bajo la curva, para esto se utiliza la metodología de áreas trapezoidales entre cada punto.
6. Sacar la carga de cedencia, para esto se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_{cedencia} = \left(\Delta u - \sqrt{\Delta u^2 - \frac{2A}{Ke}} \right) Ke, \text{ ecuación 9.3 de la norma ASTM 2126-09}$$

Si $\Delta u^2 < \frac{2A}{Ke}$, es permitido asumir que $P_{cedencia} = 0,85 * P_{maxima}$

I.2 Ductilidad del muro integral 1

En la Figura 104 se muestra el grafico de energía equivalente elastoplástica del muro integral #1, al cual se le aplican los lineamientos anteriores para obtener la deformación última y de cedencia.

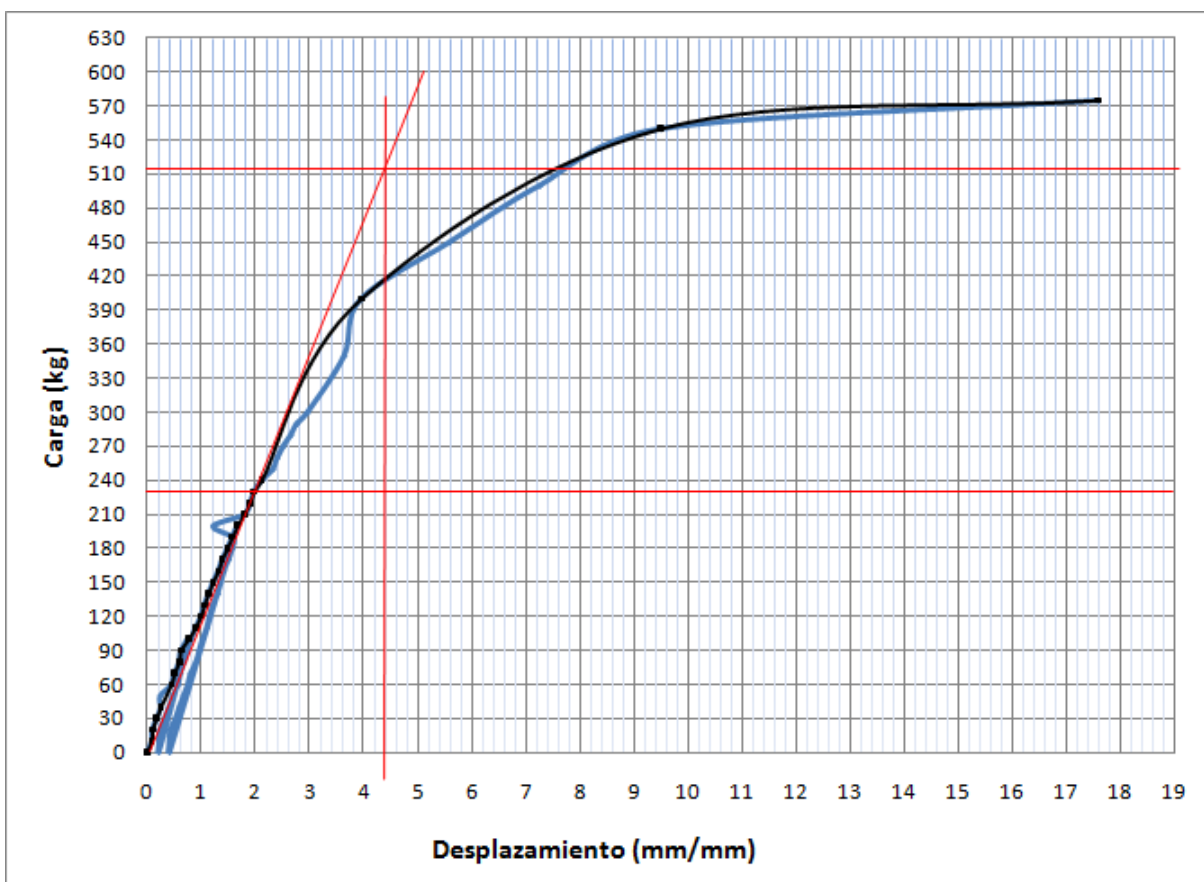


Figura 104. Procedimiento para obtener deformación elástica del muro integral 1.

En la Figura 105 se muestra la recta del rango elástico de la curva de donde se obtiene la pendiente, necesaria para obtener la carga de cedencia.

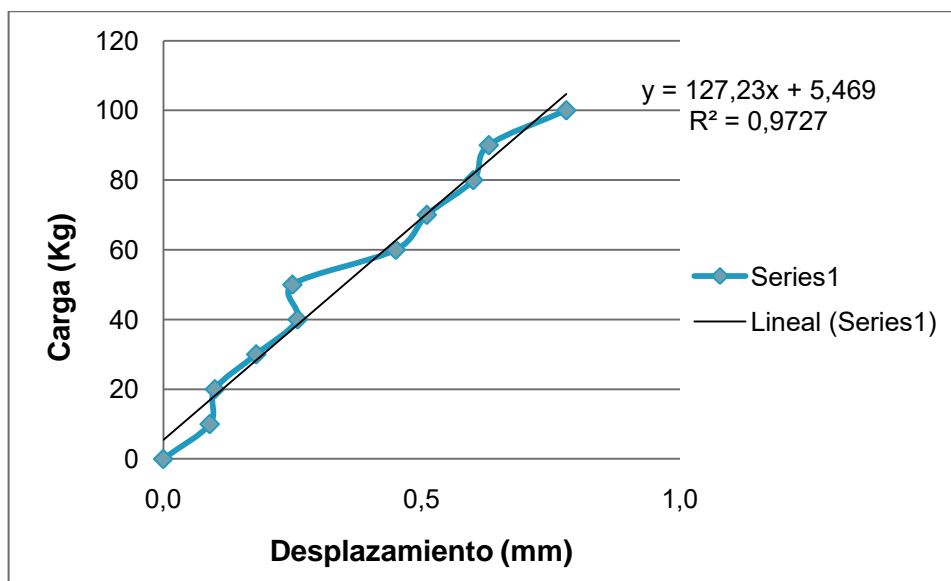


Figura 105. Pendiente del estado elástico del muro integral 1.

Los cálculos de los lineamientos seguidos en la Figura 104 y de la ductilidad del muro se sintetizan en el Cuadro 50.

Cuadro 50. Cálculos para obtener la ductilidad del muro integral 1

Pmax	575		
0,4pmax	230		
Ke	127,2		
Δu	17,58	Δu^2	309,06
A	8007,2	$2A/Ke$	125,9
Py	514,7		
$\Delta u^2 - (2 \cdot A/Ke)$	183,2		
δe	4,40		
δu	17,58		
μ	4,00		

I.3 Ductilidad del muro integral 2

En la Figura 106 se muestra el grafico de energía equivalente elastoplástica del muro integral #2, al cual se le aplican los lineamientos anteriores para obtener la deformación última y de cedencia.

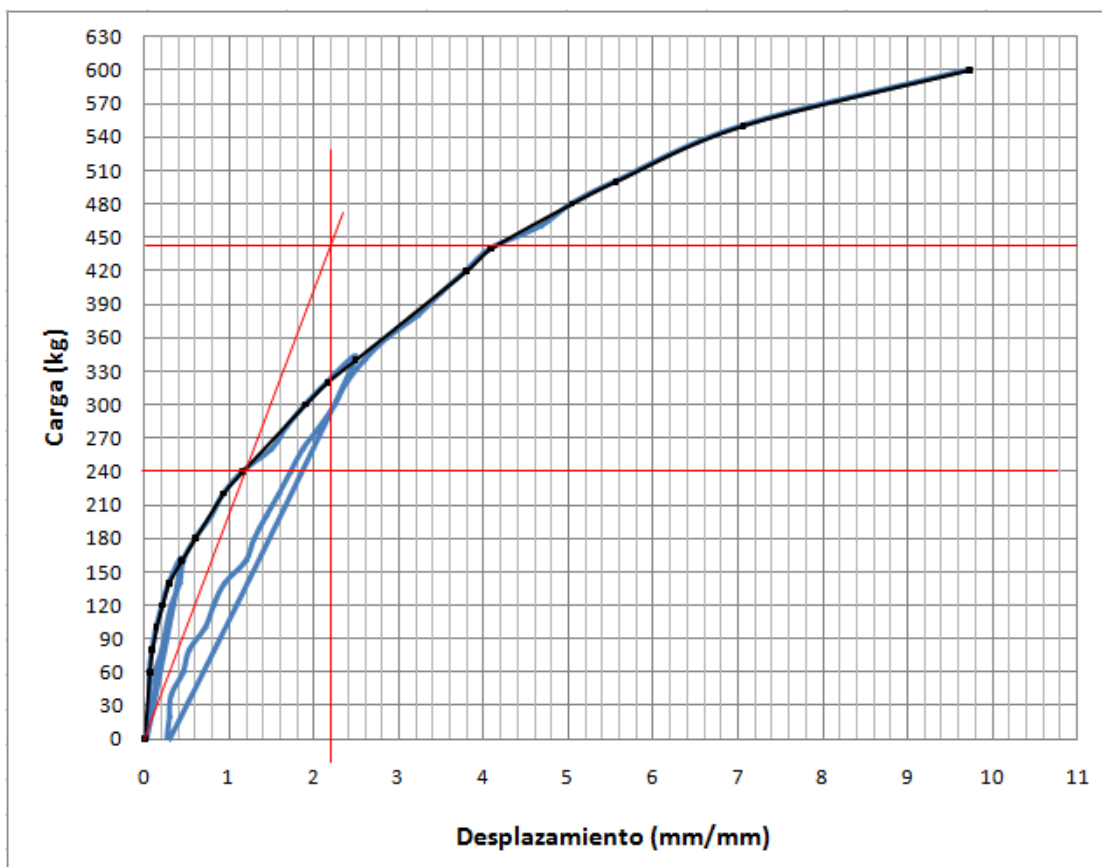


Figura 106. Procedimiento para obtener deformación elástica del muro integral 2.

En la Figura 107 se muestra la recta del rango elástico de la curva de donde se obtiene la pendiente, necesaria para obtener la carga de cedencia.

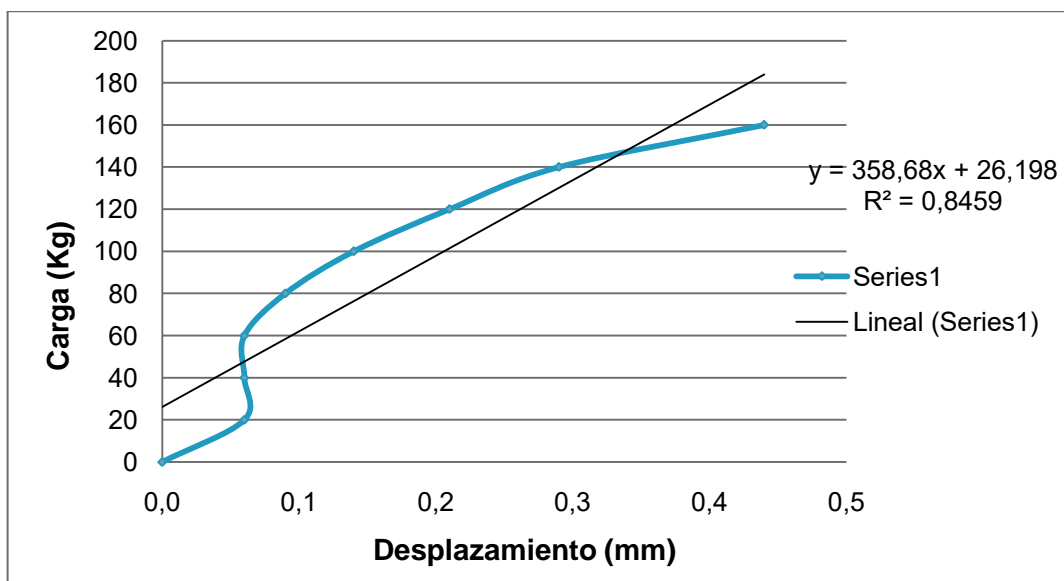


Figura 107. Pendiente del estado elástico del muro integral 2.

Los cálculos de los lineamientos seguidos en la Figura 106 y de la ductilidad del muro se sintetizan en el Cuadro 51.

Cuadro 51. Cálculos para obtener la ductilidad del muro integral 2

Pmax	600		
0,4pmax	240		
Ke	358,68		
Δu	9,73	Δu^2	94,67
A	4049,2	$2A/Ke$	22,6
Py	444,5		
$\Delta u^2 - (2 \cdot A/Ke)$	72,1		
δe	2,20		
δv	9,73		
μ	4,42		

I.4 Ductilidad del muro confinado 1

En la Figura 108 se muestra el grafico de energía equivalente elastoplástica del muro confinado #2, al cual se le aplican los lineamientos anteriores para obtener la deformación última y de cedencia.

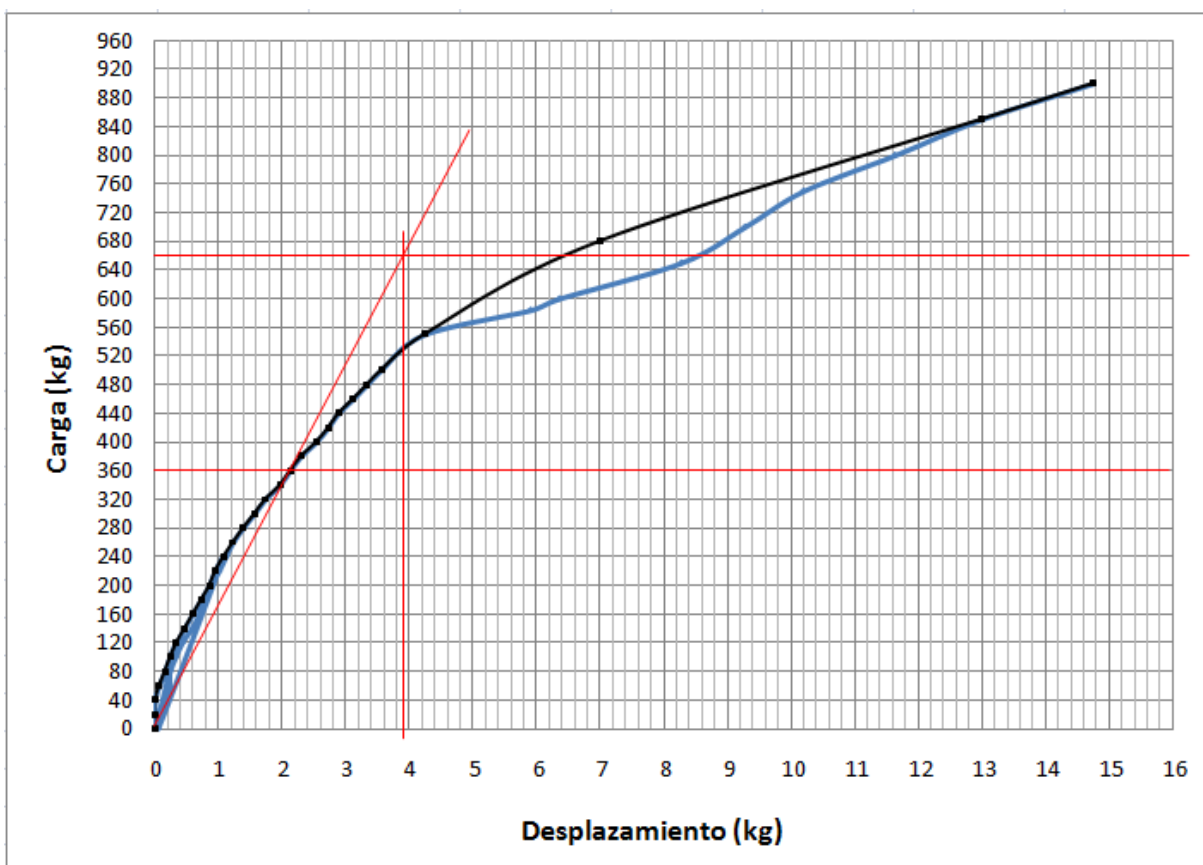


Figura 108. Procedimiento para obtener deformación elástica del muro confinado 1.

En la Figura 109 se muestra la recta del rango elástico de la curva de donde se obtiene la pendiente, necesaria para obtener la carga de cedencia.

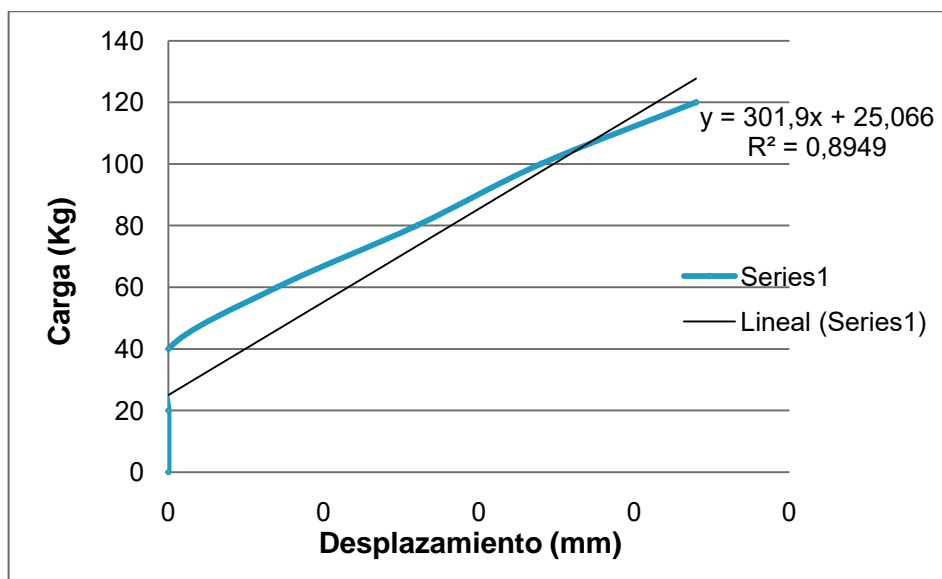


Figura 109. Pendiente del estado elástico del muro confinado 1.

Los cálculos de los lineamientos seguidos en la Figura 108 y de la ductilidad del muro se sintetizan en el Cuadro 52.

Cuadro 52. Cálculos para obtener la ductilidad del muro confinado 1

Pmax	900		
0,4pmax	360		
Ke	301,9		
Δu	14,71	Δu^2	216,38
A	8965,0	$2A/Ke$	59,4
Py	658,2		
$\Delta u^2 - (2 \cdot A/Ke)$	157,0		
δe	3,90		
δv	14,71		
μ	3,77		

I.5 Ductilidad del muro confinado 2

En la Figura 110 se muestra el grafico de energía equivalente elastoplástica del muro confinada #2, al cual se le aplican los lineamientos anteriores para obtener la deformación última y de cedencia.

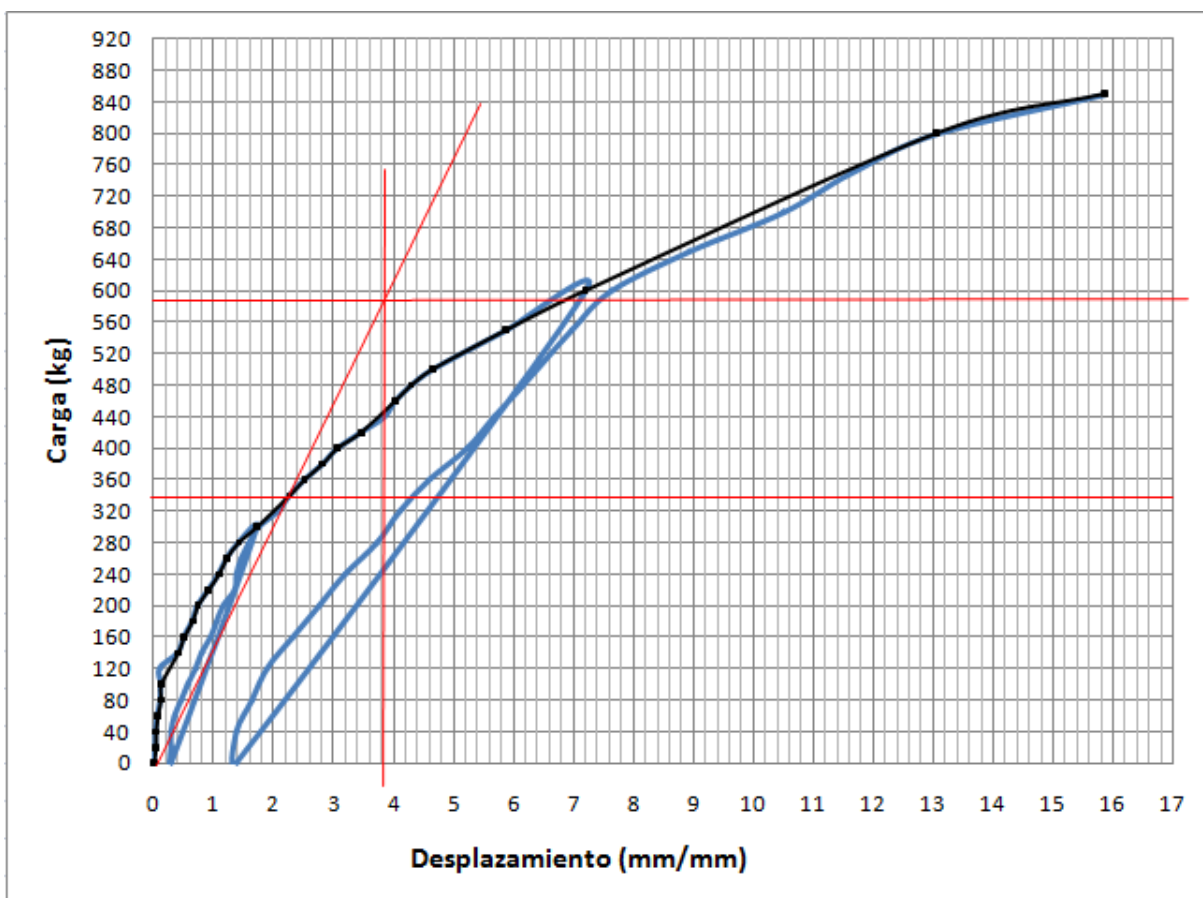


Figura 110. Procedimiento para obtener deformación elástica del muro confinado 2.

En la Figura 111 se muestra la recta del rango elástico de la curva de donde se obtiene la pendiente, necesaria para obtener la carga de cedencia.

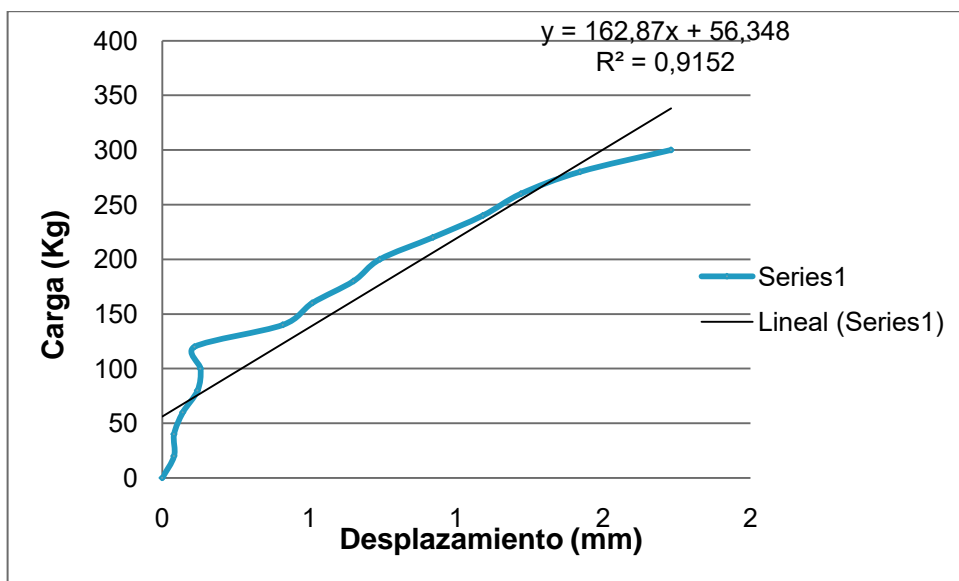


Figura 111. Pendiente del estado elástico de la curva muro confinado 2.

Los cálculos de los lineamientos seguidos en la Figura 110 y de la ductilidad del muro se sintetizan en el Cuadro 53.

Cuadro 53. Cálculos para obtener la ductilidad del muro confinado 2

Pmax	850		
0,4pmax	340		
Ke	162,9		
Δu	15,86	Δu^2	251,54
A	8248,6	$2A/Ke$	101,3
Py	586,7		
$\Delta u^2 - (2 \cdot A/Ke)$	150,2		
δe	3,80		
δv	15,86		
μ	4,17		

ANEXO J. Comparación de las variaciones que se han desarrollado del CSCR-02 vs el CSCR-10

En este anexo se presentan las variaciones más representativas que se le han desarrollado al Capítulo 9 desde el CSCR-02 al borrador del CSCR-10, las comparaciones se realizan con los parámetros de diseño que se utilizaron en la elaboración de esta investigación. Esto se presenta en el Cuadro 54.

Cuadro 54. Comparación de cambios realizados en el capítulo 9 desde el CSCR-02 al borrador del CSCR-10

	CSCR-02	B. CSCR-10
Resistencia de cortante	Secc. 9.7.5 $V_u \leq \phi V_n$ $V_n = V_m + V_s$ $V_s = \frac{A_{sh} f_y d}{S_h}$ Ecuación [9-15], [9-16] y [9-17]	Secc. 9.7.5 $V_u \leq \phi V_n$ $V_n = V_m + V_s$ $V_s = \frac{0.5 A_{sh} f_y d}{S_h}$ Ecuación [9-21], [9-22] y [9-23]
		<p>“La ecuación 9-22 es válida cuando el refuerzo horizontal está embebido en concreto en toda su longitud. En caso contrario, se debe utilizar la mitad del valor obtenido con la ecuación”.</p>
	$V_m = [0,50 \sqrt{f'_m} + 0,30 (P_u/A_g)] d b_w$ Ecuación [9-19]	$V_m = \left\{ \left[1 - 0,44 \left(\frac{M_u}{V_u d} \right) \right] \sqrt{f'_m} + 0,25 \left(\frac{P_u}{A_g} \right) \right\} d b_w$ Ecuación [9-24]

Flexocompresión	Secc. 9.7.6 f. Se comprueba el equilibrio $Cm + Cs - T = Pn$ [9-32] y se considera aceptable una diferencia de hasta el $\pm 3\%$,	Secc. 9.7.6 f. Se comprueba el equilibrio $Cm + Cs - T = Pn$ [9-32] y se considera aceptable una diferencia de hasta el 10%.
Elementos de confinamiento	Secc. 9.8.6 Ancho mínimo del elemento confinante: 20 cm	Secc. 9.9.3 "Ancho mínimo del elemento confinante: 20 cm para edificios de dos pisos y 40 cm para edificios de más de dos pisos".
Requisitos para la ductilidad local óptima		<p>"El muro debe ser diseñado para el valor menor de los siguientes:</p> <p>un cortante que corresponda a 1.5 la capacidad a flexión de la sección a la cedencia del acero o 1.8 veces el cortante indicado por el análisis.</p> <p>La extensión vertical de la zona potencial de formación de la rótula plástica desde la sección crítica debe ser la mayor entre:</p> <ul style="list-style-type: none"> . La longitud de la pared en el plano de las fuerzas sísmicas, lw. . Una sexta parte del claro libre L_n. <p>. 80 cm"</p>
		<p>"colocar como mínimo el siguiente confinamiento en los elementos verticales de concreto:</p> <p>Cuando el esfuerzo máximo en compresión, calculado para las cargas factorizadas y las cargas de sismo en su condición más crítica con un modelo linealmente elástico y las propiedades de la sección bruta, sea menor que $0.20 f'c$ se deben usar aros #2 a cada 10 cm para edificios de hasta dos pisos y #3 a cada 10 cm para edificios de más de dos pisos".</p>