

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

**Ensayos de anclajes y traslapos de varilla horizontal en paredes de
mampostería**

Proyecto Final de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura de Ingeniería Civil

Presenta:

Maciel Irías Murillo

Director de Proyecto de Graduación:

Ing. Roy Acuña Prado, M.Sc.

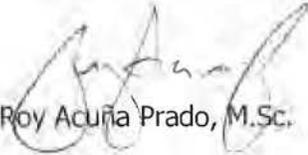
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Costa Rica

Marzo, 2013

Hoja de aprobación

Miembros del Comité Asesor



Ing. Roy Acuña Prado, M.Sc.
Director



Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Asesor



Ing. Álvaro Poveda Vargas, M.Sc.
Asesor

Maciel Irías M

Maciel Irías Murillo
Estudiante

Derechos de propiedad intelectual

Fecha: marzo, 2013.

Quien suscribe, Maciel Irías Murillo, cédula 1-1380-0505, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **A73303**, manifiesta que es autora del Proyecto Final de Graduación **Ensayos de anclajes y traslapes de varilla horizontal en paredes de mampostería**, bajo la dirección del Ing. Roy Acuña Prado, 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 haber en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales”. Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

Dedicatoria

A las personas más importantes de mi vida, mi familia.

Agradecimientos

Primero quiero agradecer a Dios por permitirme alcanzar esta meta, por guiarme y protegerme durante todo el recorrido, porque con él, todo es siempre más fácil.

A mis papás, por ser un apoyo incondicional durante el transcurso de la carrera y la vida en general, porque sin ellos no lo hubiera logrado.

A mi hermana y a Juan por ayudarme siempre en lo que ellos pudieron, por estar en los buenos y malos momentos.

A mis compañeros David, Piero y Mario; gracias por sacar su tiempo para ayudarme en este proyecto.

A mis asesores don Álvaro y don Alejandro, por brindarme toda la ayuda que necesité.

A mi director, Don Roy, gracias por estar siempre disponible a contestar mis dudas.

Al Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme), por su ayuda tanto con equipos como en el financiamiento del proyecto, gracias.

A los técnicos del Lanamme, a Avisaí, Cristian, Pablo y Diego, gracias por toda la ayuda que me brindaron.

Y en general, todas las personas que de una u otra manera hicieron posible este documento.

Gracias.

Índice

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Justificación	1
1.1.1	<i>Problema específico</i>	1
1.1.2	<i>Importancia</i>	2
1.1.3	<i>Antecedentes</i>	3
1.2	Objetivos	6
1.2.1	<i>Objetivo general</i>	6
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	6
1.3	Marco teórico e hipótesis.....	6
1.4	Delimitación del problema	9
1.4.1	<i>Alcance</i>	9
1.4.2	<i>Limitaciones</i>	11
2.	MATERIALES	11
2.1	Generalidades	11
2.2	Materiales utilizados.....	11
2.2.1	<i>Agregados</i>	11
2.2.2	<i>Cemento</i>	14
2.2.3	<i>Acero</i>	15
2.2.4	<i>Mampostería</i>	16
3.	DISEÑOS DE MEZCLA.....	17
3.1	Generalidades	17
3.2	Concreto de relleno.....	18
3.3	Mortero de pega.....	18
4.	PRIMAS DE MAMPOSTERÍA.....	19
5.	ESPECÍMENES PARA ESTUDIO DE ANCLAJES Y TRASLAPOS.....	21
5.1	Generalidades	21
5.2	Geometría y detalles constructivos	22
5.2.1	<i>Primer extremo de pared</i>	22
5.2.2	<i>Segundo extremo de pared</i>	24
5.2.3	<i>Tercer extremo de pared</i>	26

5.2.4	Cuarto extremo de pared.....	28
5.2.5	Primer tipo de traslapo.....	30
5.2.6	Segundo tipo de traslapo.....	33
5.3	Proceso constructivo	35
5.4	Montaje y pruebas.....	46
6.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	49
6.1	Extremo de pared con una celda rellena (varilla #4) y varilla horizontal anclada con gancho estándar de 90°	49
6.2	Extremo de pared con dos celdas rellenas (2 varillas #3) y varilla horizontal con gancho estándar de 90°	58
6.3	Extremo de pared con una celda rellena (varilla #4) y varilla horizontal anclada con gancho estándar de 180°	66
6.4	Extremo de pared con dos celdas rellenas (2 varillas #3) y varilla horizontal anclada con gancho estándar de 180°	73
6.5	Pared con traslapo utilizando gancho estándar 180° (varilla en la sisa).....	80
6.6	Pared con varillas horizontales traslapadas sin gancho y embebidas en concreto...88	
6.7	Comparación de resultados.....	95
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	109
7.1	Conclusiones	109
7.2	Recomendaciones.....	110
	BIBLIOGRAFÍA	111

Índice de figuras

Figura 1. Curva granulométrica, agregado grueso.....	12
Figura 2. Curva granulométrica, agregado fino.	14
Figura 3. Curva esfuerzo-deformación para varillas #3.....	15
Figura 4. Curva esfuerzo deformación para varillas #4.....	15
Figura 5. Diagrama de bloques	16
Figura 6. Prismas de mampostería en proceso de construcción.	20
Figura 7. Prisma de mampostería listo para ser fallado.....	21
Figura 8. Falla de un prisma de mampostería relleno.	21
Figura 9. Detalle de varilla vertical #4, primer extremo de pared	23
Figura 10. Detalle de varilla horizontal #3, primer extremo de pared.....	23
Figura 11. Vista en planta, primer extremo de pared.....	24
Figura 12. Vista lateral, primer extremo de pared.	24
Figura 13. Detalle de varilla vertical #3, segundo extremo de pared.....	25
Figura 14. Detalle de varilla horizontal #3, segundo extremo de pared.....	25
Figura 15. Vista en planta, segundo extremo de pared.....	26
Figura 16. Vista lateral, segundo extremo de pared.	26
Figura 17. Detalle de varilla vertical #4, tercer extremo de pared.	27
Figura 18. Detalle de varilla horizontal #3, tercer extremo de pared.....	27
Figura 19. Vista en planta, tercer extremo de pared.....	28
Figura 20. Vista lateral, tercer extremo de pared.	28
Figura 21. Detalle de varilla vertical #3, cuarto extremo de pared.....	29
Figura 22. Detalle de varilla horizontal, cuarto extremo de pared.	29
Figura 23. Vista en planta, cuarto extremo de pared.....	30
Figura 24. Vista lateral, cuarto extremo de pared.	30
Figura 25. Detalle de varilla vertical #3, primer tipo de traslapo.....	32
Figura 26. Detalle de varilla horizontal, primer tipo de traslapo.	32
Figura 27. Vista en planta, primer tipo de traslapo.....	33
Figura 28. Vista lateral, primer tipo de traslapo.	33
Figura 29. Detalle de varilla vertical #3, segundo tipo de traslapo.....	34
Figura 30. Vista en planta, segundo tipo de traslapo.....	34
Figura 31. Vista lateral, segundo tipo de traslapo.	35

Figura 32. Varillas verticales dobladas.....	35
Figura 33. Varilla horizontal #3 con gancho de 180°.....	36
Figura 34. Varilla horizontal #3, con gancho de 90°.....	36
Figura 35. Varillas horizontales #3 con gancho de 180° y 90°.....	36
Figura 36. Primer extremo de pared, varilla vertical #4.....	37
Figura 37. Pega de bloques, primer extremo de pared.....	37
Figura 38. Cinco especímenes, primer extremo de pared.....	38
Figura 39. Segundo extremo de pared, 2 varillas verticales #3 y varilla horizontal #3 con gancho de 90°.....	38
Figura 40. Colocación de varillas y pega de bloques, segundo extremo de pared.....	39
Figura 41. Colocación de mortero de pega, segundo extremo de pared.....	39
Figura 42. Cinco especímenes del segundo extremo de pared casi listos.....	39
Figura 43. Tercer extremo de pared, varilla vertical #4 y varilla horizontal #3 con gancho de 180°.....	40
Figura 44. Cinco especímenes, tercer extremo de pared.....	40
Figura 45. Detalle de cuarto extremo de pared.....	41
Figura 46. Especímenes de cuarto extremo de pared en construcción.....	41
Figura 47. Especímenes de cuarto extremo de pared en construcción.....	41
Figura 48. Detalle de primer tipo de traslapo.....	42
Figura 49. Especímenes de primer tipo de traslapo en construcción.....	42
Figura 50. Especímenes de primer tipo de traslapo en construcción.....	43
Figura 51. Detalle de segundo tipo de traslapo, con viga bloque.....	43
Figura 52. Segundo tipo de traslapo en proceso de construcción.....	44
Figura 53. Especímenes listos con concreto de relleno.....	44
Figura 54. Especímenes listos con concreto de relleno.....	45
Figura 55. Espécimen con concreto de relleno.....	45
Figura 56. Aditamento diseñado para poder realizar el montaje.....	46
Figura 57. Especímenes con la placa soldada.....	47
Figura 58. Aditamento que conecta el gato hidráulico y la varilla de los especímenes.....	47
Figura 59. Montaje de los especímenes 1, 2, 3 y 4.....	48
Figura 60. Montaje de los especímenes 1, 2, 3 y 4.....	48
Figura 61. Montaje de los especímenes 5 y 6.....	49

Figura 62. Montaje de los especímenes 5 y 6.	49
Figura 63. Curva carga-desplazamiento, espécimen 1-1 (gancho 90° varilla #4).....	50
Figura 64. Resultado de la falla espécimen 1-1.....	51
Figura 65. Resultado de la falla, gancho estándar de 90° deformado, espécimen 1-1.....	51
Figura 66. Curva carga-desplazamiento, espécimen 1-2 (gancho 90° varilla #4).....	52
Figura 67. Resultado de la falla espécimen 1-2.....	52
Figura 68. Resultado de la falla espécimen 1-2.....	53
Figura 69. Resultado de la falla, gancho estándar de 90° deformado, espécimen 1-2.....	53
Figura 70. Curva carga-desplazamiento, espécimen 1-3 (gancho 90° varilla #4).....	54
Figura 71. Resultado de la falla espécimen 1-3.....	54
Figura 72. Resultado de la falla espécimen 1-3, bloques quebrados.....	55
Figura 73. Curva carga-desplazamiento, espécimen 1-4 (gancho 90° varilla #4).....	55
Figura 74. Resultado de la falla espécimen 1-4.....	56
Figura 75. Resultado de la falla, gancho estándar de 90° deformado, espécimen 1-4.....	56
Figura 76. Curva carga-desplazamiento, espécimen 1-5 (gancho 90° varilla #4).....	57
Figura 77. Resultado de la falla espécimen 1-5.....	57
Figura 78. Resultado de la falla, gancho estándar de 90° deformado, espécimen 1-5.....	58
Figura 79. Curva carga-desplazamiento, espécimen 2-1 (gancho 90° 2 varillas #3).	59
Figura 80. Especimen 2-1 listo para empezar a fallar.	59
Figura 81. Resultado de la falla, ruptura de la varilla, espécimen 2-1.....	60
Figura 82. Curva carga-desplazamiento, espécimen 2-2 (gancho 90° 2 varillas #3).	60
Figura 83. Especimen 2-2 listo para empezar a fallar.	61
Figura 84. Resultado de la falla, ruptura de la varilla, espécimen 2-2.....	61
Figura 85. Curva carga-desplazamiento, espécimen 2-3 (gancho 90° 2 varillas #3).	62
Figura 86. Especimen 2-3 listo para empezar a fallar.	62
Figura 87. Resultado de la falla, gancho estándar de 90° deformado, espécimen 2-3.....	63
Figura 88. Curva carga-desplazamiento, espécimen 2-4 (gancho 90° 2 varillas #3).	64
Figura 89. Especimen 2-4 listo para empezar a fallar.	64
Figura 90. Resultado de la falla, gancho estándar de 90° deformado, espécimen 2-4.....	65
Figura 91. Curva carga-desplazamiento, espécimen 2-5 (gancho 90° 2 varillas #3).	65
Figura 92. Especimen 2-5 listo para empezar a fallar.	66
Figura 93. Curva carga-desplazamiento, espécimen 3-1 (gancho 180° varilla #4).....	66

Figura 94. Espécimen 3-1, listo para empezar a fallar.	67
Figura 95. Resultado de la falla, gancho estándar de 180° deformado, espécimen 3-1.	67
Figura 96. Curva carga-desplazamiento, espécimen 3-2 (gancho 180° varilla #4).	68
Figura 97. Espécimen 3-2, listo para empezar a fallar.	68
Figura 98. Resultado de la falla, gancho estándar de 180° deformado, espécimen 3-2.	69
Figura 99. Curva carga-desplazamiento, espécimen 3-3 (gancho 180° varilla #4).	69
Figura 100. Espécimen 3-3 durante el proceso de falla, los bloques se empiezan a separar del mortero de pega.	70
Figura 101. Espécimen 3-3 durante el proceso de falla, los bloques se empiezan a separar del mortero de pega.	70
Figura 102. Curva carga-desplazamiento, espécimen 3-4 (gancho 180° varilla #4).	71
Figura 103. Espécimen 3-4 durante el proceso de falla, el gancho estándar de 180° se deformó.	71
Figura 104. Espécimen 3-4 al final de la falla, el gancho estándar de 180° se deformó.	72
Figura 105. Curva carga-desplazamiento, espécimen 3-5 (gancho 180° varilla #4).	72
Figura 106. Curva carga-desplazamiento, espécimen 4-1 (gancho 180° 2 varillas #3).	73
Figura 107. Resultado de la falla, espécimen 4-1, ruptura de la varilla.	74
Figura 108. Resultado de la falla, espécimen 4-1.	74
Figura 109. Curva carga-desplazamiento, espécimen 4-2 (gancho 180° 2 varillas #3).	75
Figura 110. Espécimen 4-2 durante el proceso de falla.	75
Figura 111. Espécimen 4-2 durante el proceso de falla.	76
Figura 112. Curva carga-desplazamiento, espécimen 4-3 (gancho 180° 2 varillas #3).	76
Figura 113. Espécimen 4-3, durante el proceso de falla.	77
Figura 114. Varilla del espécimen 4-3, durante el proceso de falla.	77
Figura 115. Curva carga-desplazamiento, espécimen 4-4 (gancho 180° 2 varillas #3).	78
Figura 116. Espécimen 4-4 durante el proceso de falla.	78
Figura 117. Espécimen 4-4 durante el proceso de falla.	79
Figura 118. Curva carga-desplazamiento, espécimen 4-5 (gancho 180° 2 varillas #3).	79
Figura 119. Espécimen 4-5 durante el proceso de falla.	80
Figura 120. Espécimen 4-5 al finalizar el proceso de falla.	80
Figura 121. Curva carga-desplazamiento, espécimen 5-1 (traslapo con gancho estándar de 180° y colocado en sisa).	81

Figura 122. Espécimen 5-1 durante la prueba.	81
Figura 123. Resultado de la falla espécimen 5-1, gancho estándar de 180° deformado.	82
Figura 124. Curva carga-desplazamiento, espécimen 5-2 (traslapo con gancho estándar de 180°y colocado en sisa).....	82
Figura 125. Espécimen 5-2, durante el proceso de falla.....	83
Figura 126. Espécimen 5-2, durante el proceso de falla.....	83
Figura 127. Resultado de la falla espécimen 5-2, gancho estándar de 180° deformado.	84
Figura 128. Curva carga-desplazamiento, espécimen 5-3 (traslapo con gancho estándar de 180°y colocado en sisa).....	84
Figura 129. Espécimen 5-3 durante la prueba.	85
Figura 130. Espécimen 5-3 durante la prueba.	85
Figura 131. Curva carga-desplazamiento, espécimen 5-4 (traslapo con gancho estándar de 180°y colocado en sisa).....	86
Figura 132. Espécimen 5-4 durante el proceso de falla.....	86
Figura 133. Resultado de la falla espécimen 5-4, ruptura de la varilla.....	87
Figura 134. Curva carga-desplazamiento, espécimen 5-5 (traslapo con gancho estándar de 180°y colocado en sisa).....	87
Figura 135. Espécimen 5-5 durante el proceso de falla.....	88
Figura 136. Curva carga-desplazamiento, espécimen 6-1 (traslapo sin gancho en viga bloque).....	88
Figura 137. Espécimen 6-1 durante el proceso de carga.....	89
Figura 138. Resultado de la falla espécimen 6-1, ruptura de la varilla.....	89
Figura 139. Curva carga-desplazamiento, espécimen 6-2 (traslapo sin gancho en viga bloque).....	90
Figura 140. Espécimen 6-2 durante el proceso de falla.....	90
Figura 141. Curva carga-desplazamiento, espécimen 6-3 (traslapo sin gancho en viga bloque).....	91
Figura 142. Espécimen 6-3 durante la prueba.	91
Figura 143. Resultado de la falla espécimen 6-3, ruptura de la varilla.....	92
Figura 144. Curva carga-desplazamiento, espécimen 6-4 (traslapo sin gancho en viga bloque).....	92
Figura 145. Espécimen 6-4 durante el proceso de falla.....	93

Figura 146. Resultado de la falla espécimen 6-4, ruptura de la varilla.....	93
Figura 147. Curva carga-desplazamiento, espécimen 6-5 (traslapo sin gancho en viga bloque).....	94
Figura 148. Especimen 6-5 durante el proceso de falla.....	94
Figura 149. Resultado de la falla espécimen 6-5, ruptura de la varilla.....	95
Figura 150. Resumen de curvas, especímenes tipo 1 (varilla #4 vertical, gancho estándar de 90°).....	96
Figura 151. Resumen de curvas, especímenes tipo 2 (dos varillas #3 verticales, gancho estándar de 90°).....	97
Figura 152. Resumen de curvas, especímenes tipo 3 (varilla #4 vertical, gancho estándar de 180°).....	98
Figura 153. Resumen de curvas, especímenes tipo 4 (dos varillas #3 verticales, gancho estándar de 180°).....	99
Figura 154. Resumen de curvas, especímenes tipo 5 (traslapo con gancho y colocado en la sisa).....	100
Figura 155. Resumen de curvas, especímenes tipo 6 (traslapo con viga bloque).....	101
Figura 156. Curva carga-desplazamiento con la misma escala de los especímenes.....	108

Índice de cuadros

Cuadro 1. Granulometría agregado grueso	12
Cuadro 2. Granulometría agregado fino	13
Cuadro 3. Dimensiones de bloques.....	17
Cuadro 4. Resistencia a la compresión prismas de concreto de relleno	18
Cuadro 5. Resistencia a la compresión de los cubos de mortero.....	19
Cuadro 6. Esfuerzo a la compresión, prismas de mampostería.	20
Cuadro 7. Resumen de resultados, especímenes tipo 1 (gancho 90°, varilla #4 vertical).	95
Cuadro 8. Resumen de resultados, especímenes tipo 2 (gancho 90°, varilla 2#3 vertical)....	96
Cuadro 9. Resumen de resultados, especímenes tipo 3 (gancho 180°, varilla #4 vertical)...	97
Cuadro 10. Resumen de resultados, especímenes tipo 4 (gancho 180°, varilla 2#3 vertical).	98
Cuadro 11. Resumen de resultados, especímenes tipo 5 (traslapo con gancho 180° colocado en la sisa).	99
Cuadro 12. Resumen de resultados, especímenes tipo 6 (traslapo sin gancho colocado en viga bloque).	100
Cuadro 13. Resumen de los resultados de los especímenes, anclajes.	102
Cuadro 14. Resumen de los resultados de los especímenes, traslapos.	103
Cuadro 15. Resumen de cargas para los 4 tipos de anclajes analizados.	104
Cuadro 16. Resumen de cargas para los dos tipos de traslapos analizados.....	104
Cuadro 17. Comparación especímenes con una celda rellena (varilla #4), gancho estándar de varilla horizontal distinto.....	105
Cuadro 18. Comparación especímenes con dos celdas rellenas (varilla 2#3), gancho estándar de varilla horizontal distinto.	105
Cuadro 19. Comparación especímenes con distintas celdas rellenas, gancho estándar de 90° en varilla horizontal.....	106
Cuadro 20. Comparación especímenes con distintas celdas rellenas, gancho estándar de 180° en varilla horizontal.....	106
Cuadro 21. Comparación especímenes con distinto tipo de traslapo.	107
Cuadro 22. Comparación de ensayos de especímenes de anclajes con ensayo de tracción simple de la varilla.	108

Índice de abreviaturas

d_b = diámetro de la barra de refuerzo, cm.

f'_m = resistencia en compresión de la mampostería a los 28 días, kg/cm^2 .

f_y = esfuerzo de cedencia del acero de refuerzo, kg/cm^2 .

K = recubrimiento lateral o separación libre entre las varillas, cm.

l_{de} = longitud de desarrollo del refuerzo, cm.

$l_{empalme}$ = longitud de empalme de las varillas de refuerzo, cm.

T = espesor nominal de muros, cm.

ϕ = factor de reducción de resistencia.

Irías Murillo, Maciel.

Ensayos de anclajes y traslajos de varilla horizontal en paredes de mampostería.

Proyecto de graduación-Ingeniería Civil-San José, Costa Rica.

M. Irías M., 2012.

xv,113, [0]h; ils.col.- 20 refs.

Resumen

En este trabajo se analiza el comportamiento de los anclajes y traslajos de varilla horizontal en paredes de mampostería; se comparan los anclajes con ganchos estándar de 90° y 180°, con distinto tipo de refuerzo vertical (1#4 y 2#3), y los traslajos de varillas rectas colocadas en viga bloque, y de varillas con ganchos de 180° y colocadas en la sisa. Esto con el fin de estudiarlos y comparar ambas situaciones.

Para ello, se realizaron pruebas experimentales con especímenes a escala natural, con las mismas características de longitud y altura entre cada tipo de espécimen.

Al fallar los especímenes se concluyó que cuando se encuentra una única celda rellena, en este caso con una varilla #4, el gancho estándar de 180° supera en capacidad de carga al gancho estándar de 90° en un 15.7%.

En el caso de los especímenes con dos celdas rellenas (dos varillas verticales #3), la diferencia entre utilizar un gancho estándar de 180° con respecto a uno de 90° disminuye, pues usar un gancho estándar de 180° supera únicamente en 1.6% a los ganchos de 90°.

Finalmente, los resultados de las pruebas de los traslajos indican que la capacidad de los traslajos sin gancho en viga bloque supera en 2.7% la capacidad de carga de los traslajos con gancho estándar de 180° colocados en la sisa.

PAREDES DE MAMPOSTERÍA; ESCALA NATURAL; ANCLAJES Y TRASLAPOS.

Ing. Roy Acuña Prado, M.Sc.

Director de la investigación.

Escuela de Ingeniería Civil.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

1.1.1 Problema específico

La utilización de la mampostería como método de construcción actualmente en Costa Rica es uno de los más comunes para la confección de obras de pequeña a mediana altura, pues se considera fácil de construir y económico. Sin embargo, uno de los principales problemas es la elaboración de los anclajes de las varillas horizontales en las construcciones, pues en general los realizan con un gancho estándar de 90°, infringiendo el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (CSCR-2010) en su sección 9.3.3.b. en el cual dice; *“El refuerzo para cortante debe ser anclado en sus extremos mediante un gancho estándar de 180 grados con una extensión mínima de 15 cm”*.

Teóricamente no se considera una buena práctica la utilización del gancho estándar de 90°, pues provoca un menor agarre del acero horizontal al concreto de relleno; induciendo menores capacidades a cortante por parte del muro de mampostería.

Con este trabajo se pretende probar hasta qué punto los anclajes con gancho estándar de 180° promueven una mayor capacidad por parte del acero horizontal, pues en caso contrario podría estipularse la posibilidad de utilizar los ganchos estándar de 90°, como es la práctica común en campo.

Otro de los puntos a considerar es el de utilizar una única celda rellena para acero vertical con una varilla #4 o dos celdas rellenas con dos varillas #3 (una en cada celda), ya que estas sugerencias se presentan en el capítulo 17 de Vivienda unifamiliar (diseño simplificado) en la sección 17.3.3.b de paredes de mampostería (CSCR-2010), con lo cual se busca determinar la alternativa que produce un mejor comportamiento estructural y así contemplar la posibilidad de establecer una única forma de refuerzo vertical en esta sección del CSCR-2010.

Finalmente otro de los problemas vistos en los sitios de construcción es la elaboración de los traslapos de las varillas horizontales sin la utilización de un gancho estándar de 180° (recomendación teórica), por lo que este trabajo determinará cómo se comporta la adherencia de los traslapos al utilizar un gancho estándar de 180° en las varillas horizontales colocadas en las sisas y sin la utilización del gancho estándar de 180° pero embebiendo el acero en concreto mediante la utilización de vigas bloque.

1.1.2 Importancia

Si bien el diseño de la mampostería está definido en el capítulo 9 del CSCR-2010, Requisitos para mampostería estructural y en el anexo A del mismo código, Requisitos complementarios para mampostería estructural; las prácticas comunes de construcción no cumplen con las normas básicas citadas en estos capítulos. Por lo que este proyecto busca realizar una comparación en cuanto a los anclajes de las varillas horizontales realizados en campo (gancho estándar de 90°) y los estipulados por el CSCR-2010 (gancho estándar de 180°); además otro de los temas a considerar en este trabajo son los traslapos de las varillas horizontales con un gancho estándar de 180° y colocadas en la sisa y los traslapos sin gancho, embebidos en concreto, mediante el sistema de viga bloque.

Por último este proyecto incluye dentro de su análisis de anclajes de varillas horizontales el hecho de utilizar una única celda rellena con una varilla #4 o bien dos celdas rellenas con dos varillas #3, esto con la finalidad de comparar ambas posibilidades estipuladas en el CSCR-2010 en su sección 17.3.3.b de paredes de mampostería integral.

Ambos temas, anclajes y traslapos en varillas horizontales son de gran relevancia, pues la metodología constructiva empleada en los sitios de construcción incide directamente en el comportamiento estructural de los muros de mampostería.

1.1.3 Antecedentes

El uso de la mampostería se ha desarrollado internacionalmente en países como Nueva Zelanda, Inglaterra, Estados Unidos y países latinoamericanos como lo son Argentina, Venezuela, Colombia y México.

Además el estudio de la mampostería ha tenido a importantes investigadores como R. Meli, T. Pauly y N. Priestley que han realizado indagaciones acerca de su comportamiento.

En nuestro país, se han realizado más de veintidós trabajos de graduación en la Universidad de Costa Rica en relación con el tema de la mampostería, los cuales fueron realizados en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (Lanamme). De estos veintidós trabajos realizados, se encontraron dos relacionados con el tema de los anclajes y seis con relación al comportamiento y resistencia en cortante de la mampostería, a los cuales se les analizó qué tipo de anclajes y traslapos utilizaron durante la elaboración de las pruebas; el resto de los trabajos no es necesario mencionarlos, pues no son alusivos al tema en estudio.

Quirós en el año 2000 desarrolló el tema "*Determinación experimental en modelos a escala reducida, de la eficiencia de anclaje de los refuerzos horizontales de vigas, en la unión con las columnas*". Este proyecto de graduación trata el tema de los anclajes a escala reducida; sin embargo, no se desarrolló en el área de la mampostería, sino que se basó en marcos de microconcreto. Además, en este trabajo no se realiza una comparación de gancho estándar de 90° y gancho estándar de 180° sino que se basa en realizar tres modelos distintos: el primero consistió en un marco con unión viga-columna simple, o sea en este se utilizó el gancho estándar como medio de anclaje de refuerzo; el segundo consistió en prolongar la viga fuera de la cara exterior de la columna una longitud mayor que la de desarrollo, con el fin de transmitir los esfuerzos del acero al concreto en una mayor longitud; y por último, el tercer modelo fue una propuesta de unión viga-columna que se realizó por medio de un anclaje mecánico en la cara exterior de la columna, donde se sujetó el refuerzo de la viga.

En el año de 1998 Villarreal desarrolló, como su trabajo final de graduación, "*Modelado a escala reducida de anclajes de entrepisos a paredes de mampostería*", este proyecto investigó, mediante modelos a escala reducida, una alternativa como el viga bloque. Comparó el nivel de resistencia ante cargas laterales en el plano de uniones entre pared y entrepiso.

Por otro lado, se realizaron otros trabajos de graduación a escala reducida tales como "*Comportamiento estructural de paredes de mampostería integral a escala reducida fabricadas con viga bloque*", realizada por Hidalgo (2005). En este trabajo Hidalgo muestra en su figura 4.1.c el detalle de anclaje de refuerzo horizontal utilizado en su investigación, el cual fue un gancho estándar de 90°, a pesar de que el mismo menciona "*la forma recomendada por el CSCR es con un gancho de 180° anclado al refuerzo vertical*" y en el caso de los traslapes de las varillas horizontales, no son mencionados en la investigación.

Carazo en 1998 determinó la capacidad en cortante de paredes de mampostería integral a escala reducida, utilizando mampostería apilada y el acero horizontal colocado en las sisas de los bloques, en este caso los anclajes utilizados según los detalles constructivos de la figura 4.2 de este trabajo fueron con gancho estándar de 90° y no se realizaron traslapes para las varillas horizontales.

Sáenz en el 2009, también a escala reducida, indica entre sus conclusiones la importancia del refuerzo horizontal en los muros de mampostería, ya que aumenta la capacidad en cortante y la ductilidad de la pared. En este caso Sáenz utiliza en su investigación, gancho estándar de 90° para anclar el acero horizontal (figura 3.1 de este proyecto de graduación) y no utiliza traslapes en el acero horizontal.

Otro de los trabajos de graduación relacionado con el acero horizontal fue el de Sandí en 1998 "*Cargas cíclicas laterales aplicadas en paredes de mampostería (sistema convencional vs. sistema viga bloque)*" en donde los anclajes usados para el acero horizontal fue con gancho estándar de 90° con una longitud de 12 cm (figura No 5.1 y 5.2 de este proyecto). En el caso de los traslapes del acero horizontal estos no están dentro del alcance de esta investigación.

Gamboa en 1997, en su tesis presentada para obtener el grado de *Magister Scientiae*, comenta que en diversas pruebas se han obtenido resultados que demuestran que donde existe deficiente adherencia entre el mortero y el refuerzo, el acero es efectivo siempre que cuente con un anclaje adecuado, por lo que se concluye que el tema de la buena realización de los anclajes es básico para obtener un buen comportamiento estructural por parte de los muros de mampostería. Gamboa comenta en la sección 1.4 de alcances y limitaciones de su proyecto *"El tipo de anclaje de las varillas tanto verticales como horizontales se hará con terminación en gancho conforme a la buena práctica de construcción en mampostería."* Sin embargo no queda totalmente claro si utilizó gancho estándar de 90° o de 180° durante la elaboración de su proyecto. Los traslapos no son mencionados en este proyecto.

Un trabajo de graduación más reciente es el presentado por Cordero en el año 2012, *"Comportamiento en cortante de muros de mampostería con el refuerzo horizontal embebido en concreto o colocado en las sisas de los bloques"*, en el cual dice: *"Es importante destacar que para el anclaje del acero horizontal no se realizaron los ganchos de 180° requeridos por los códigos, sino que se utilizaron ganchos verticales de 90° con el fin de apegarse a la práctica común"*. Con esto y con todos los proyectos de graduación anteriormente mencionados se puede ver como hasta en los trabajos de graduación se utiliza el concepto de los ganchos de 90° para apegarse a lo que normalmente se ve en campo. En este proyecto se ignora la situación de los traslapos, pues se estipula no tomar en cuenta los empalmes de las varillas horizontales.

Siendo la mampostería un sistema constructivo muy utilizado en Costa Rica, resulta necesario realizar un análisis de la diferencia entre los anclajes con gancho estándar de 90° y los anclajes con gancho estándar de 180°, así también el análisis de adherencia en traslapos sin utilizar gancho (acero embebido en concreto) y al utilizar gancho de 180° (acero colocado en la sisa).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar el desempeño estructural de distintos tipos de anclajes y traslajos de varilla horizontal en paredes de mampostería, mediante la realización de ensayos.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Diseñar y construir cinco extremos de paredes de mampostería con una celda rellena (1 varilla #4 vertical) y una varilla horizontal anclada con gancho estándar de 90°.
- b) Diseñar y construir cinco extremos de paredes de mampostería con dos celdas rellenas (2 varillas #3 verticales) y una varilla horizontal anclada con gancho estándar de 90°.
- c) Diseñar y construir cinco extremos de paredes de mampostería con una celda rellena (1 varilla #4 vertical) y una varilla horizontal anclada con gancho estándar de 180°.
- d) Diseñar y construir cinco extremos de paredes de mampostería con dos celdas rellenas (2 varillas #3 verticales) y una varilla horizontal anclada con gancho estándar de 180°.
- e) Diseñar y construir cinco traslajos de varilla horizontal anclados con gancho estándar de 180° y colocados en la sisa en paredes de mampostería.
- f) Diseñar y construir cinco traslajos de varilla horizontal rectos embebidos en concreto en paredes de mampostería.
- g) Comparar los resultados obtenidos en los cuatro casos de extremos de paredes de mampostería (anclajes) y los dos tipos de traslajos realizados.

1.3 Marco teórico e hipótesis

Actualmente en Costa Rica la mampostería es una de las técnicas constructivas más utilizadas para la construcción de viviendas y edificios de altura moderada, este sistema consiste en la utilización de bloques de concreto formando paños, los cuales son reforzados integralmente, es decir que tanto el refuerzo vertical como el horizontal quedan embebidos

en los bloques. En el caso de refuerzo horizontal, puede ser colocado en las sisas utilizando varilla convencional o mallas de refuerzo especial conocidas como "escaleras". También el refuerzo horizontal puede ser colocado en unos bloques especiales llamados "viga bloque", en los cuales el acero queda totalmente embebido en concreto. El uso de bloques con refuerzo vertical y horizontal es lo que se conoce como mampostería integral.

Otra forma de concebir la mampostería es la mampostería confinada, en la cual los bloques son confinados perimetralmente por elementos de concreto reforzado. En muchas partes del mundo el paño de mampostería no se refuerza, sin embargo en nuestro país el CSCR-2010 exige que posea tanto acero horizontal como vertical.

Existen una gran cantidad de maneras para pegar los bloques de mampostería; en nuestro medio básicamente existen dos formas; unidades colocadas en forma apilada o en estiba y la otra manera es en forma traslapada.

En cuanto al refuerzo que se utiliza para diseñar la mampostería, consiste en varillas de acero colocadas verticalmente y horizontalmente, las cuales según el CSCR-2010 deben ser corrugadas (el uso de la varilla lisa se restringe a varilla #2 y que sean aros con ganchos doblados a 135° en los extremos). El acero vertical debe ir colocado en celdas rellenas de concreto y el horizontal en las hiladas de los bloques (colocado simplemente en las sisas, conocido como el método "tradicional") o utilizando el sistema de viga bloque.

Además, el acero de refuerzo para sistemas de mampostería debe cumplir con la norma ASTM A 706. Se permite utilizar acero que cumpla con la norma ASTM A 615, grado 40 y grado 60 solo si el esfuerzo real de cedencia no sobrepasa el esfuerzo especificado en más de 1250 kg/cm^2 y si la relación de la resistencia última en tracción y el esfuerzo de cedencia real no es inferior a 1.25.

"El refuerzo para cortante debe ser anclado en sus extremos mediante un gancho estándar de 180° con una extensión mínima de 15 cm", estipula la sección 9.3.3.b del CSCR-2010; sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, en la práctica común los obreros no cumplen con esta norma, sino que elaboran los anclajes con gancho estándar de 90° y es

por esto que esta investigación busca determinar las diferencias entre estos dos métodos de anclaje.

Continuando con el tema de los traslajos, de acuerdo con el CSCR-2010 los traslajos del acero longitudinal deben cumplir con:

$$l_{\text{empalme}} = \frac{l_{\text{de}}}{\phi} \geq 40 \text{ cm}$$

Donde:

$$l_{\text{de}} = \frac{0.566d_b^2 f_y}{k\sqrt{f'_m}} \leq 52d_b$$

k = recubrimiento lateral o separación libre entre las varillas, el que sea menor (cm); no debe exceder $5d_b$.

El valor de l_{de} no debe ser considerado menor que 30 cm.

Según la sección 9.4.3.f de empalmes del CSCR-2010, todos los traslajos deben estar embebidos en concreto. Se permite usar traslajos soldados o empalmes mecánicos siempre que se logre demostrar que son capaces de desarrollar una capacidad igual a 1.25 veces el valor de cedencia del acero. Además en la sección 9.5.8.f se especifica que no se debe traslajar más del 50% del acero en una misma región y la distancia mínima entre los traslajos de varillas adyacentes debe ser 75 cm a lo largo del eje longitudinal.

Con esta investigación se pretende determinar cómo se comportan los traslajos de las varillas longitudinales embebidas en concreto sin el uso del gancho y utilizando un gancho de 180° (acero colocado en las sisas).

De acuerdo con las investigaciones consultadas, la falla producida por cortante presenta un comportamiento más frágil que la falla por flexión, lo que evidencia la necesidad de un buen comportamiento del acero horizontal en cuanto a sus traslajos y a sus anclajes.

1.4 Delimitación del problema

1.4.1 Alcance

Se diseñaron y construyeron cuatro tipos de extremos de paredes de mampostería integral tipo B y dos casos de traslapos de varilla horizontal de igual manera en paredes de mampostería integral tipo B (cinco especímenes para cada uno de los modelos), descritos de la siguiente manera:

Primer extremo de pared de mampostería

Dos hiladas de bloques colocados en forma traslapada, cada una con dos bloques; con una varilla #4 vertical (celda rellena) y como anclaje del acero horizontal (varilla #3) un gancho estándar de 90°.

Segundo extremo de pared de mampostería

Dos hiladas de bloques colocados en forma traslapada, cada una con dos bloques; con dos varillas #3 como acero vertical (dos celdas rellenas) y como anclaje del acero horizontal (varilla #3) un gancho estándar de 90°.

Tercer extremo de pared de mampostería

Dos hiladas de bloques colocados en forma traslapada, cada una con dos bloques; con una varilla #4 vertical (celda rellena) y como anclaje del acero horizontal (varilla #3) un gancho estándar de 180°.

Cuarto extremo de pared de mampostería

Dos hiladas de bloques colocados en forma traslapada, cada una con dos bloques; con dos varillas #3 como acero vertical (dos celdas rellenas) y como anclaje del acero horizontal (varilla #3) un gancho estándar de 180°.

Primer traslapo de varilla horizontal en paredes de mampostería

Dos hiladas de bloques colocados en forma traslapada, cada una con tres bloques; y con un traslapo por parte del acero horizontal (varilla #3 colocado en la sisa) con gancho de 180° alrededor de las varillas verticales #3 (dos celdas rellenas).

Segundo traslapo de varilla horizontal en paredes de mampostería

Dos hiladas de bloques colocados en forma traslapada, cada una con tres bloques; y con un traslapo por parte del acero horizontal (varilla #3 embebido en concreto) sin gancho estándar de 180° alrededor de las varillas verticales #3 (dos celdas rellenas).

El modelado de las paredes se realizó utilizando bloques de 12 cm de espesor, sus dimensiones fueron de 80 cm de largo por 40 cm de altura, para los primeros cuatro casos mencionados; para el quinto y el sexto modelo se tuvo una longitud de 120 cm por 40 cm de altura.

Las varillas horizontales se colocaron con el sistema tradicional en las sisas, para los primeros cuatro casos de anclajes y para la quinta pared de traslapes utilizando gancho estándar de 180°; en el caso de la sexta pared de traslapo sin uso de gancho estándar, se utilizó viga bloque para alojar a las varillas horizontales. Se pretendía que tanto las varillas verticales como horizontales fueran grado 40; sin embargo al realizar las pruebas de tracción de las varillas los resultados evidencian que las varillas #4 son grado 60.

El mortero de pega utilizado fue tipo A y el concreto de relleno también fue clase A cumpliendo con lo descrito en el apéndice A del CSCR-2010.

Este estudio proporcionó una serie de resultados referentes a las técnicas teóricas recomendadas para la elaboración de los anclajes del acero horizontal en la mampostería y las que realmente se utilizan en campo, al igual que en el caso de los traslapes de estas varillas.

1.4.2 Limitaciones

La cantidad de especímenes se limitó a 30 debido a los recursos disponibles y por esta razón se fallaron 5 modelos para cada uno de los tipos de paredes en mampostería descritos anteriormente. Se utilizó solamente bloques de 12 cm de espesor, con mampostería tipo B, por las mismas razones expuestas.

2. MATERIALES

2.1 Generalidades

La adecuada escogencia de los materiales, así como la verificación de sus características y propiedades son de suma importancia, pues la resistencia de las paredes depende directamente de la calidad de los materiales con que se construyen.

2.2 Materiales utilizados

2.2.1 Agregados

Los agregados presentaban una coloración grisácea; en el caso del agregado grueso presentaba algunas partículas angulosas y redondeadas. El agregado fino utilizado era de río y provenía de Guápiles.

Agregado grueso

- Granulometría

Se siguió el procedimiento de la prueba ASTM C136, utilizando agregado grueso con un tamaño máximo nominal de 12.5 mm. Se obtuvo la curva granulométrica, la cual muestra que efectivamente la mayor parte del agregado queda retenido en las mallas #3/8 y #4.

Cuadro 1. Granulometría agregado grueso

Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando acumulado	Límites aceptados, ASTM-C33 (%)
# 1/2	12.5	0	0	0	100	90-100
# 3/8	9.5	534.3	22.5	22.5	77.5	40-70
# 4	4.75	1728.4	72.6	95.1	4.9	0-15
# 8	2.36	96.8	4.1	99.2	0.8	0-5
# 16	1.18	7.7	0.3	99.5	0.5	0-5
# 30	0.6	2.4	0.1	99.6	0.4	0-5
# 50	0.3	2.1	0.1	99.7	0.3	0-5
# 100	0.15	0.1	0.0	99.7	0.3	0-5
# 200	0.075	5	0.2	99.9	0.1	0-5
Charola	0	2.8	0.1	100.0	0.0	0-5
	Total	2379.6				

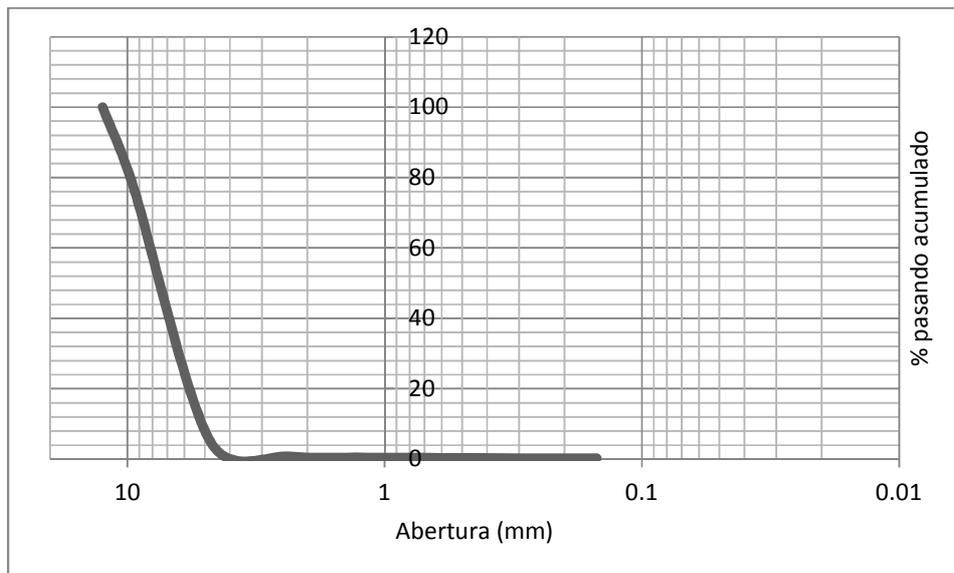


Figura 1. Curva granulométrica, agregado grueso.

- Gravedad específica

Los resultados obtenidos para la muestra de agregado en lo que respecta a la densidad relativa y la absorción fueron:

– Densidad relativa: 2.57

– Absorción: 2.53 %

- Peso unitario

Para esta prueba se preparó la muestra y se obtuvieron los siguientes resultados:

- Suelto: 1307 kg/m³
- Envarillado: 1451 kg/m³

- Humedad

La humedad obtenida en sitio fue de 1.45 %.

Agregado fino

- Granulometría

El agregado fino utilizado provenía de Guápiles y al igual que con el agregado grueso, se siguió la norma ASTM C136, utilizando el agregado lavado. El módulo de finura obtenido corresponde a 3,55.

Los demás resultados se muestran continuación.

Cuadro 2. Granulometría agregado fino

Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando acumulado	Límites aceptados, ASTM C-33 (%)
# 4	4.75	71.7	6.0	6	94	95-100
# 8	2.36	281.4	23.4	29.4	71	80-100
# 16	1.18	303.6	25.3	54.7	45	50-85
# 30	0.6	251.1	20.9	75.6	24	25-60
# 50	0.3	193.7	16.1	91.7	8	5-30
# 100	0.15	67.4	5.6	97.3	3	0-10
# 200	0.075	27.4	2.3	99.6	0.4	
Charola	0	5.2	0.4	100	0	
	Total	1201.5				
	MF	3.55				

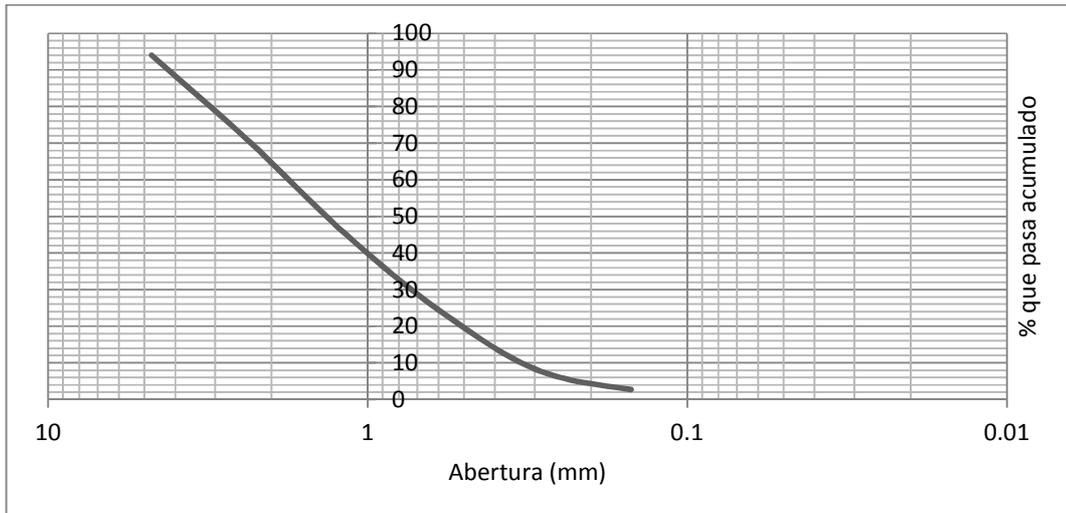


Figura 2. Curva granulométrica, agregado fino.

- Gravedad específica

Los resultados obtenidos para la muestra de agregado en lo que respecta a la densidad relativa y la absorción fueron:

- Densidad relativa: 2.52
- Absorción: 3.52 %

- Peso unitario

Para esta prueba se preparó la muestra y se obtuvieron los siguientes resultados:

- Suelto: 1592 kg/m^3
- Envarillado: 1687 kg/m^3

- Humedad

La humedad obtenida en sitio fue de 1.48%.

2.2.2 Cemento

El cemento que se utilizó fue el tipo UG de CEMEX, se le realizó la prueba de la norma ASTM C189 y se obtuvo un peso específico de 2,92.

2.2.3 Acero

Se le realizaron pruebas de tracción a las varillas utilizadas, las cuales corresponden a varilla #3 y varilla #4.

Los resultados obtenidos a partir de dichas pruebas se muestran a continuación:

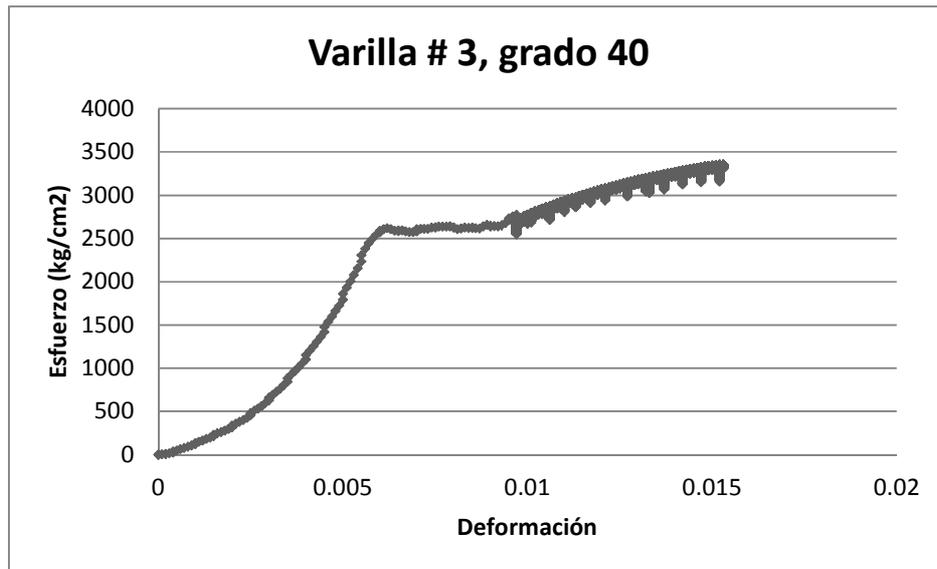


Figura 3. Curva esfuerzo-deformación para varillas #3.

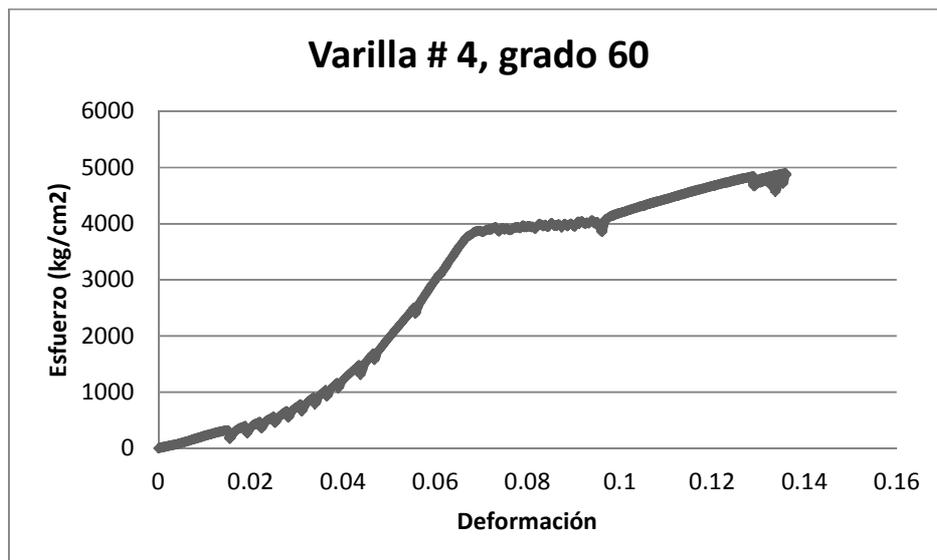


Figura 4. Curva esfuerzo deformación para varillas #4.

Según los resultados obtenidos la varilla #3 obtuvo un esfuerzo de cedencia de 2773 kg/cm², valor que se encuentra por debajo del esfuerzo de cedencia teórico de 2800 kg/cm², sin embargo corresponde al 99.04% por lo que se consideró aceptable; el esfuerzo de ruptura de esta varilla fue de 3895 kg/cm².

En el caso de la varilla #4 su esfuerzo de cedencia fue de 3938 kg/cm², lo que corresponde a un 93.8% del esfuerzo de cedencia teórico de las varillas grado 60 (4200 kg/cm²), razón por la cual a pesar de haberlas comprado como grado 40, el resultado demostró que realmente son grado 60. Su esfuerzo de ruptura correspondió a 6306 kg/cm².

Es importante destacar que estas pruebas no fueron realizadas con varillas instrumentadas, por lo que los desplazamientos que se muestran corresponden al desplazamiento de la cabeza de la varilla y los resultados obtenidos sirven únicamente para tener una idea del Fy del acero utilizado.

2.2.4 Mampostería

Los bloques utilizados fueron de un espesor de 12 cm (12x20x40). Se verificaron las dimensiones de los bloques, mediante la medición de un grupo de los mismos, escogidos al azar. A continuación se presentan las medidas tomadas:

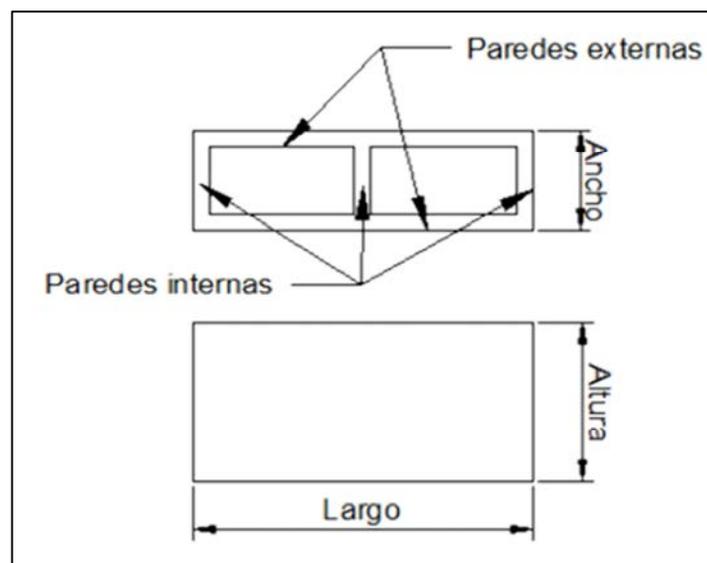


Figura 5. Diagrama de bloques

Cuadro 3. Dimensiones de bloques

Bloque	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Promedio de paredes internas (cm)	Promedio de paredes externas (cm)
1	39.3	12	19.1	2.8	2.8
2	39.3	12	18.8	2.7	2.7
3	39.1	12	18.6	2.6	2.6
Promedio	39.2	12	18.8	2.7	2.7

Para verificar la resistencia a la compresión de los bloques de concreto a utilizar, se fallaron tres especímenes y se obtuvo un f'_b promedio de 91.1 kg/cm² sobre el área neta, el cual se encuentra por debajo de los 133 kg/cm² solicitados por el CSCR-2010 para mampostería clase A, es decir que según la resistencia obtenida, estos bloques cumplen con la especificación de mampostería clase B (resistencia mínima de 90 kg/cm² sobre el área neta); sin embargo, se consideró que esta resistencia no influye en los resultados de las pruebas y que más bien produce resultados más conservadores. Es importante recalcar que en un principio se pretendía utilizar mampostería clase A; sin embargo, según los resultados anteriores, los especímenes se construyeron con mampostería clase B.

Los bloques tipo viga se fabricaron en sitio.

3. DISEÑOS DE MEZCLA

3.1 Generalidades

Un diseño de mezcla adecuado depende de las características y propiedades propias de los materiales a utilizarse.

Los diseños de mezcla de concreto de relleno de las celdas de los bloques y el mortero de pega se realizaron con la expectativa de que la mampostería era clase A, pues hasta ese entonces no se habían fallado los bloques y por lo tanto no se había concluido que eran clase B. Sin embargo el CSCR-2010 indica que la mampostería clase B puede ser utilizada

con concreto de relleno clase A (175 kg/cm²) o clase B (140 kg/cm²) y de igual manera el mortero de pega puede ser clase A (175 kg/cm²) o clase B (126 kg/cm²).

3.2 Concreto de relleno

La proporción por volumen recomendada por el CSCR-2010 para el concreto de relleno es de 1:2:2, para clase A, el cual debe dar una resistencia de 175 kg/cm².

Se realizaron prismas de concreto de relleno conforme a la norma ASTM C1019 y según la proporción del CSCR-2010 y a los 7 días se obtuvieron los siguientes resultados.

Cuadro 4. Resistencia a la compresión prismas de concreto de relleno

Prismas	Resistencia a los 7 días (kg/cm²)	Resistencia proyectada a los 28 días (kg/cm²)
1	55.48	79.26
2	63.39	90.56
3	57.67	82.38
Promedio	58.85	84.07

De acuerdo con los datos anteriores se obtuvo un promedio de 33.6% de la resistencia requerida a los 28 días, no se alcanzó el 70% que se debe obtener a esta edad.

Como consecuencia se realizó un nuevo diseño de mezcla obteniendo una proporción por peso de 1:2.13:2.20; los prismas se fallaron a los 7 días y adquirieron una resistencia promedio de 180 kg/cm².

A los 14 días se obtuvo una resistencia promedio de 186 kg/cm² y finalmente a los 28 días 214 kg/cm².

3.3 Mortero de pega

Para el mortero de pega se decidió utilizar el mortero preempacado pegablock tipo S de Intaco. Para corroborar su resistencia se realizaron cubos siguiendo con las normas ASTM C-305, ASTM C-230 y ASTM C-109. El saco recomienda utilizar de 6 a 6.5 litros de agua; sin

embargo, por trabajabilidad se utilizó 5 litros por saco de 40 kg, y se obtuvieron los siguientes resultados.

Cuadro 5. Resistencia a la compresión de los cubos de mortero.

Cubos	Resistencia a los 7 días (kg/cm²)	Resistencia a los 14 días (kg/cm²)	Resistencia a los 28 días (kg/cm²)
1	143.4	199.4	282.8
2	153.2	207.3	265.2
3	148.7	204.3	269.7
Promedio	148.4	203.7	272.6

Según los datos del cuadro anterior en promedio la resistencia de los cubos de mortero a los 7 días alcanzaron el 84.8% de la resistencia esperada a los 28 días (175 kg/cm²), pues se esperaba obtener la resistencia mínima exigida por el CSCR-10 para mortero tipo A. Al fallarse a los 28 días se obtuvo una resistencia que superó en un 55.8% los 175 kg/cm². Sin embargo, es importante mencionar que la ficha técnica de este mortero especifica una resistencia de 163.2 kg/cm² en campo y según la norma de 146.5 kg/cm².

4. PRIMAS DE MAMPOSTERÍA

La resistencia de la mampostería se mide en función de la resistencia en compresión de prismas fabricados con las unidades que se van a usar. A esta resistencia se le conoce como el f'_m .

La metodología y el procedimiento se llevaron a cabo de acuerdo con la norma INTE 06-02-18-07 y además los prismas fueron construidos con los mismos materiales y la misma mano de obra que construyó los especímenes, tal como lo establece el CSCR-2010 en el apéndice A.

En la figura 6 se muestra el proceso constructivo de los prismas de mampostería.



Figura 6. Prismas de mampostería en proceso de construcción.

Después de los 28 días, se fallaron los especímenes y se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 6. Esfuerzo a la compresión, prismas de mampostería.

Prisma hueco	Área neta (cm²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm²)
1	468.0	32911	70.3
2	470.4	32020	68.1
3	471.6	32465	68.8
Promedio			69.1
Prisma relleno	Área neta (cm²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm²)
4	471.6	45870	97.3
5	470.4	62144	132.1
6	471.6	47255	100.2
Promedio			109.9
		f'_m (kg/cm²)	89.5

De acuerdo con el cuadro anterior los prismas de mampostería cumplieron con los requisitos del CSCR-2010, superaron los 70 kg/cm², correspondiente a los prismas de mampostería clase B.

Las dos figuras siguientes muestran el proceso de falla de los prismas de mampostería.



Figura 7. Prisma de mampostería listo para ser fallado.



Figura 8. Falla de un prisma de mampostería relleno.

5. ESPECÍMENES PARA ESTUDIO DE ANCLAJES Y TRASLAPOS.

5.1 Generalidades

La construcción de los especímenes es tan importante como la escogencia de los materiales a utilizar. Un espécimen construido adecuadamente permite obtener resultados representativos que se pueden aplicar al diseño de las estructuras reales.

En este proyecto se construyeron seis tipos de especímenes, de los cuales cuatro de ellos hacen referencia al tema de anclajes de varilla horizontal en paredes de mampostería y dos se refieren a los traslajos de varilla horizontal en paredes de mampostería.

Para cada uno de los tipos de especímenes, se construyeron cinco, con el fin de obtener resultados representativos.

En el caso de los especímenes encargados del estudio de los anclajes se introdujeron dos variaciones para comparar, primero el tipo de gancho utilizado (gancho estándar de 180° y gancho estándar de 90°) y el acero de refuerzo vertical (una única varilla #4 y dos varillas #3).

Los especímenes construidos para analizar los traslajos consideraron de igual manera dos variaciones, la utilización de gancho estándar de 180° y la ausencia de este; y la colocación de la varilla horizontal, colocada simplemente en la sisa y embebida en concreto mediante la utilización de viga bloque.

Es importante resaltar que para la realización de este ensayo no existe ninguna norma, por lo que el diseño de los especímenes y el montaje de las pruebas se realizó de acuerdo a las necesidades de la investigación.

5.2 Geometría y detalles constructivos

5.2.1 Primer extremo de pared

El primer extremo de pared que se analizó consistió de dos hiladas de dos bloques traslapados (80cm x 40cm). El refuerzo utilizado fue una varilla vertical #4 y una varilla horizontal #3 con gancho estándar de 90°.

Varilla vertical #4

Gancho estándar de 180°: según la sección 9.4.3.c. del CSCR-2010 la extensión debe ser como mínimo de $4 d_b = 4 \times 1.27 = 5.08 \text{ cm} \approx 5.1 \text{ cm}$.

Diámetro de doblez: según la sección 9.4.3.d del CSCR-2010 el gancho estándar de 180° debe tener un diámetro de doblez no menor que $6 d_b = 6 \times 1.27 = 7.6 \text{ cm}$. Sin embargo, por razones constructivas (el gancho de la varilla debía entrar en el hueco de los bloques de mampostería) el diámetro de doblez se redujo a 4.5 cm.

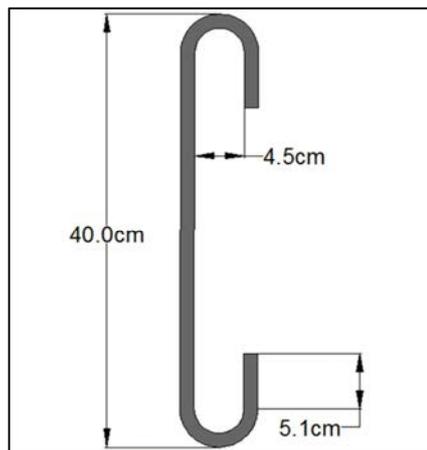


Figura 9. Detalle de varilla vertical #4, primer extremo de pared.

Varilla horizontal #3

Gancho estándar de 90°: según la sección 9.4.3.c. del CSCR-2010 la extensión debe ser de por lo menos $12 d_b = 12 \times 0.95 = 11.4 \text{ cm} \approx 11.5 \text{ cm}$.

Diámetro de doblez: según la sección 9.4.3.d del CSCR-2010 el diámetro de doblez del gancho estándar de 90° debe ser no menor que $6 d_b = 6 \times 0.95 = 5.7 \text{ cm}$.

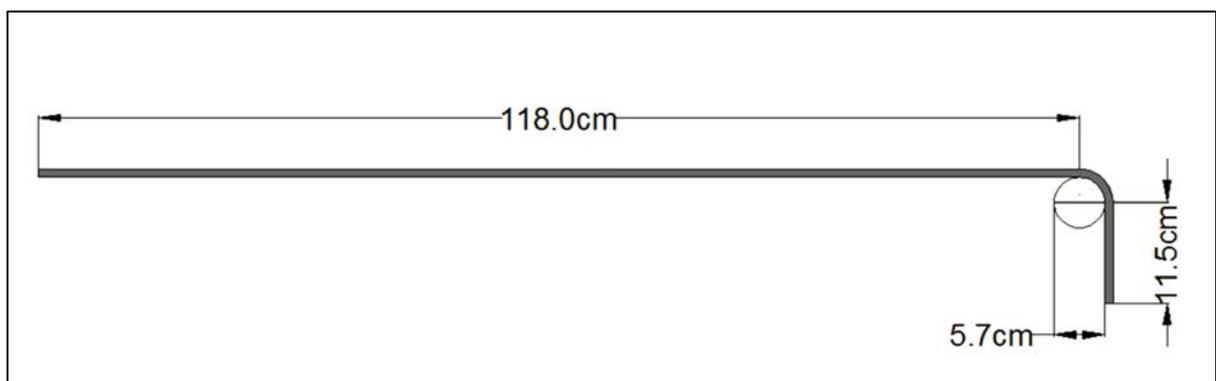


Figura 10. Detalle de varilla horizontal #3, primer extremo de pared.

Las vistas en planta y lateral del primer tipo de espécimen se muestran a continuación:

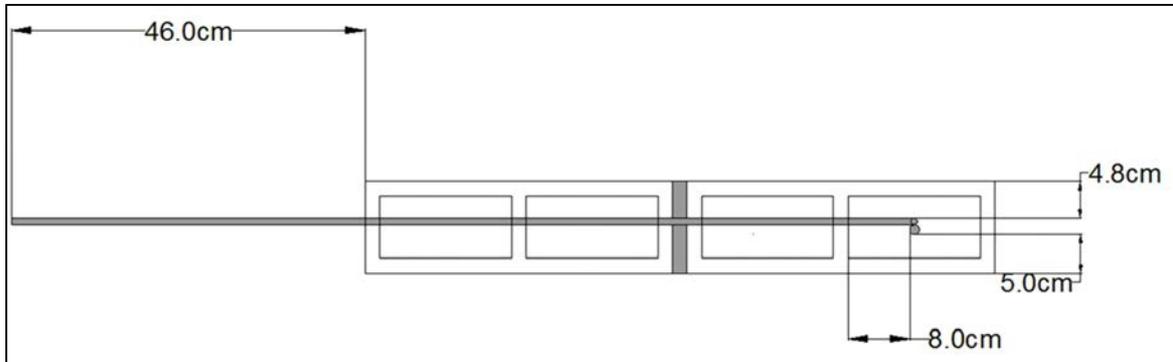


Figura 11. Vista en planta, primer extremo de pared.

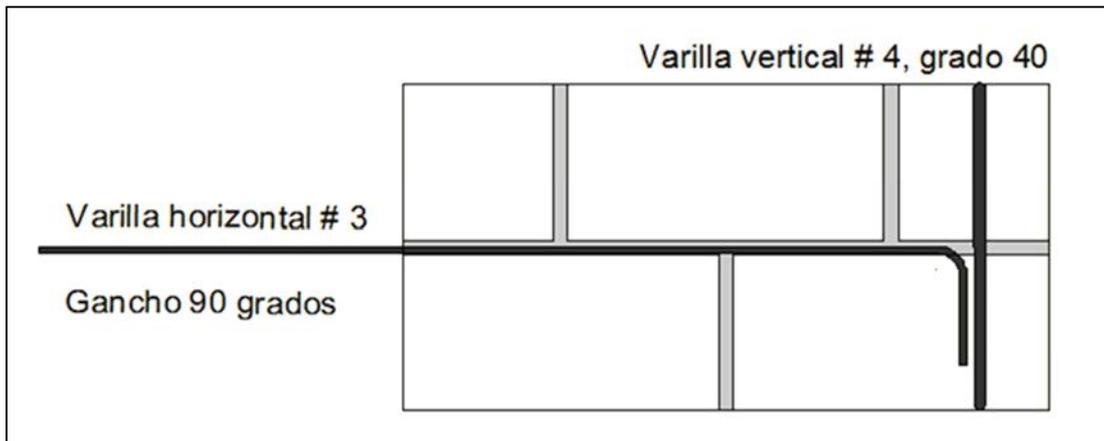


Figura 12. Vista lateral, primer extremo de pared.

5.2.2 Segundo extremo de pared

El segundo extremo de pared que se analizó consistió de dos hiladas de dos bloques traslapados (80cm x 40cm). El refuerzo que se utilizó fueron dos varillas verticales #3 y una varilla horizontal #3 con gancho estándar de 90°.

Varilla vertical #3.

Gancho estándar de 180°: según la sección 9.4.3.c. del CSCR-2010 la extensión debe ser como mínimo $4 d_b = 4 \times 0.95 = 3.8$ cm.

Diámetro de doblé: según la sección 9.4.3.d del CSCR-2010 el diámetro de doblé del gancho estándar de 180° debe ser no menor que $6 d_b = 6 \times 0.95 = 5.7 \text{ cm}$. Sin embargo, al igual que en el caso anterior, por razones constructivas el diámetro de doblé se redujo a 4.5 cm.

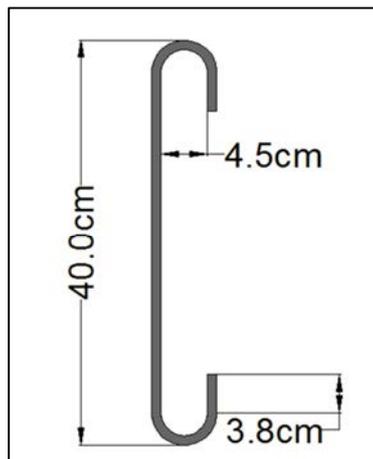


Figura 13. Detalle de varilla vertical #3, segundo extremo de pared.

Varilla horizontal #3.

Gancho estándar de 90°: según la sección 9.4.3.c. del CSCR-2010 la extensión debe ser de por lo menos $12 d_b = 12 \times 0.95 = 11.4 \text{ cm} \approx 11.5 \text{ cm}$.

Diámetro de doblé: según la sección 9.4.3.d del CSCR-2010 el diámetro de doblé del gancho estándar de 90° debe ser no menor que $6 d_b = 6 \times 0.95 = 5.7 \text{ cm}$.

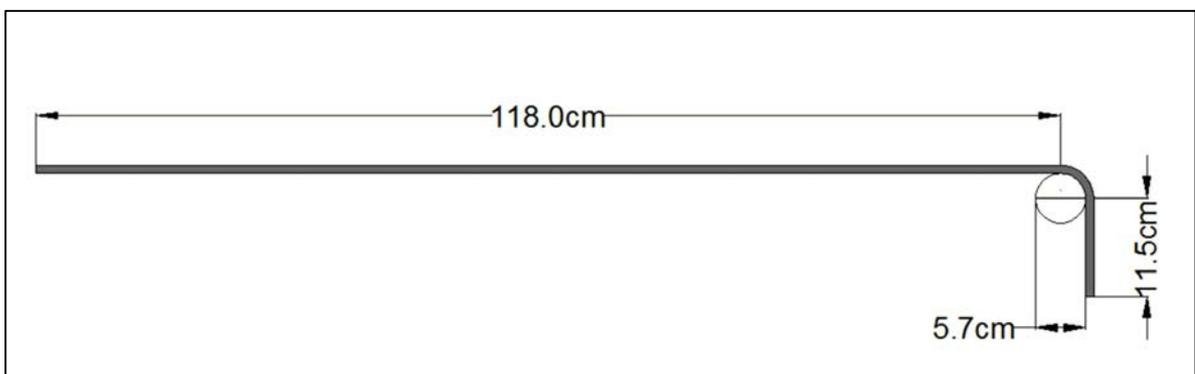


Figura 14. Detalle de varilla horizontal #3, segundo extremo de pared.

Las vistas en planta y lateral del segundo espécimen se muestran a continuación:

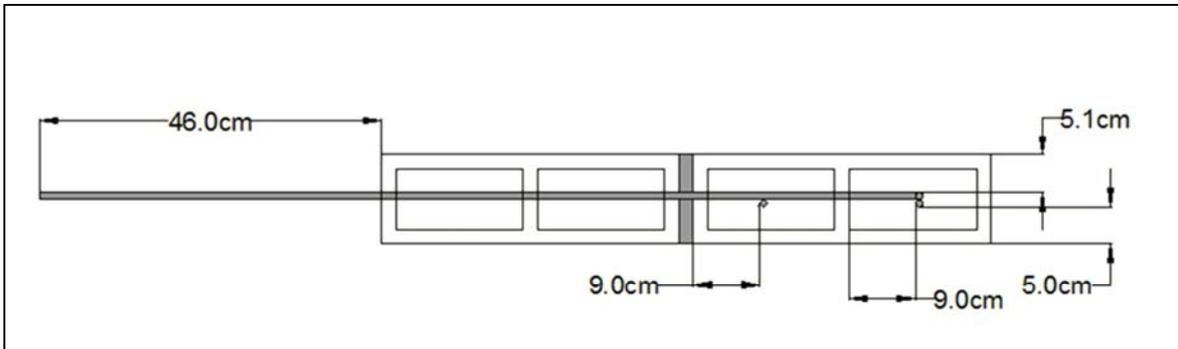


Figura 15. Vista en planta, segundo extremo de pared.

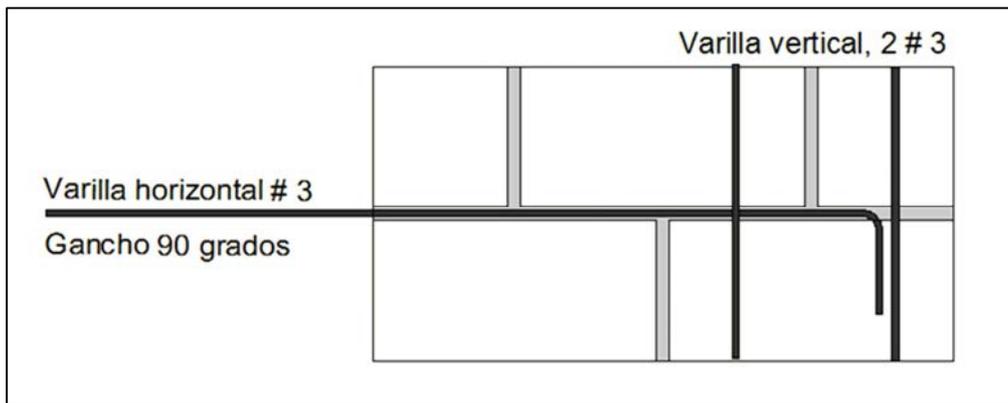


Figura 16. Vista lateral, segundo extremo de pared.

5.2.3 Tercer extremo de pared

El tercer extremo de pared que se analizó consistió de dos hiladas de dos bloques traslapados (80 cm x 40 cm). El refuerzo que se utilizó fue una varilla #4 vertical y una varilla horizontal #3 con gancho estándar de 180°.

Varilla vertical #4.

Gancho estándar de 180°: según la sección 9.4.3.c. del CSCR-2010 la extensión debe ser como mínimo de $4 d_b = 4 \times 1.27 = 5.08 \text{ cm} \approx 5.1 \text{ cm}$.

Diámetro de doblé: según la sección 9.4.3.d del CSCR-2010 el gancho estándar de 180° debe tener un diámetro de doblé, no menor que $6 d_b = 6 \times 1.27 = 7.6 \text{ cm}$. Sin embargo por razones constructivas (el gancho de la varilla debía entrar en el hueco de los bloques de mampostería) el diámetro de doblé se redujo a 4.5 cm.

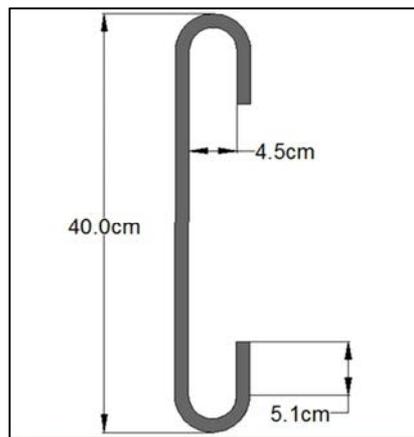


Figura 17. Detalle de varilla vertical #4, tercer extremo de pared.

Varilla horizontal #3.

Gancho estándar de 180°, de acuerdo con la sección 9.3.3.b, muros de corte, la extensión mínima es de 15 cm.

Gancho estándar de 180°: según la sección 9.4.3.d del CSCR-2010, el diámetro de doblé del gancho estándar 180° no debe ser menor que $6 d_b = 6 \times 0.95 = 5.7 \text{ cm}$.

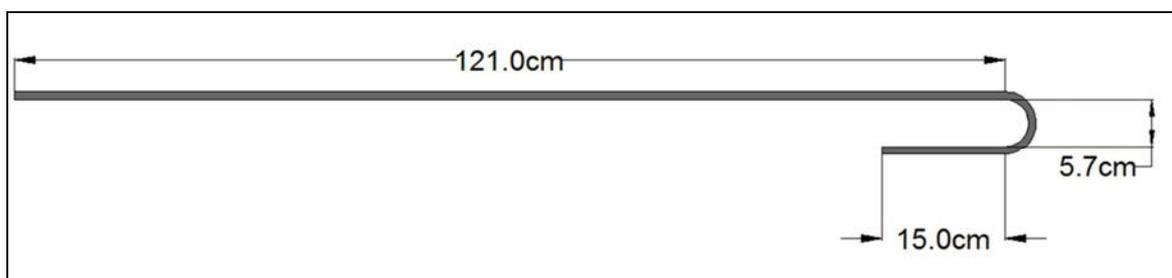


Figura 18. Detalle de varilla horizontal #3, tercer extremo de pared.

Las vistas en planta y lateral de este tipo de espécimen se detalla en las siguientes dos figuras:

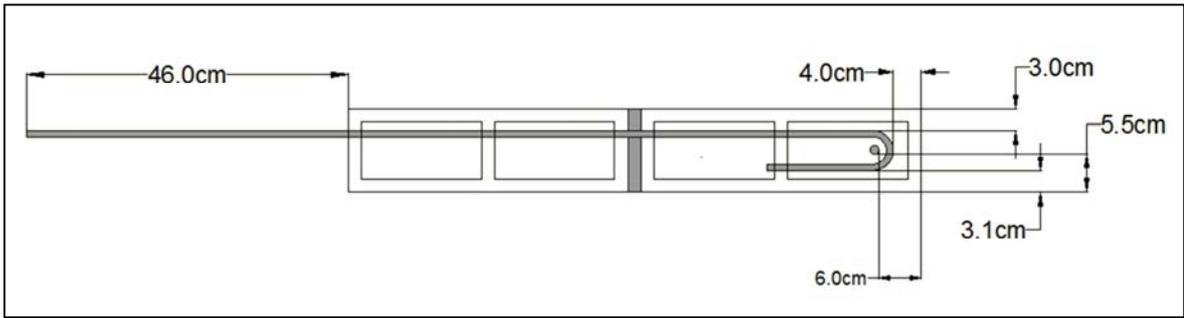


Figura 19. Vista en planta, tercer extremo de pared.

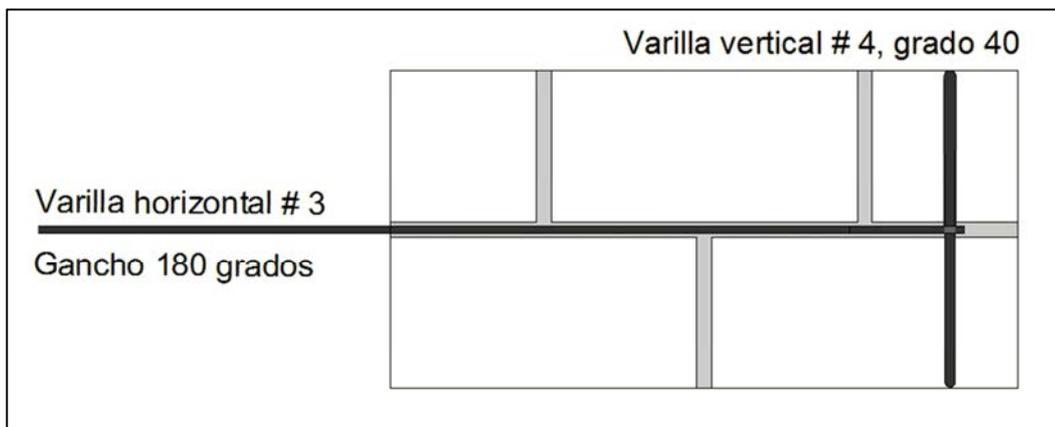


Figura 20. Vista lateral, tercer extremo de pared.

5.2.4 Cuarto extremo de pared

El cuarto extremo de pared que se analizó consistió de dos hiladas de dos bloques traslapados (80cm x 40cm). El refuerzo que se utilizó fueron dos varillas #3 y una varilla horizontal #3 con gancho estándar de 180°.

Varilla vertical #3.

Gancho estándar de 180°: según la sección 9.4.3.c. del CSCR-2010 la extensión debe ser como mínimo $4 d_b = 4 \times 0.95 = 3.8$ cm.

Diámetro de dobléz: según la sección 9.4.3.d del CSCR-2010 el diámetro de dobléz del gancho estándar de 180° debe ser no menor que $6 d_b = 6 \times 0.95 = 5.7$ cm. Sin embargo, al

igual que en el caso anterior, por razones constructivas el diámetro de doblé se redujo a 4.5 cm.

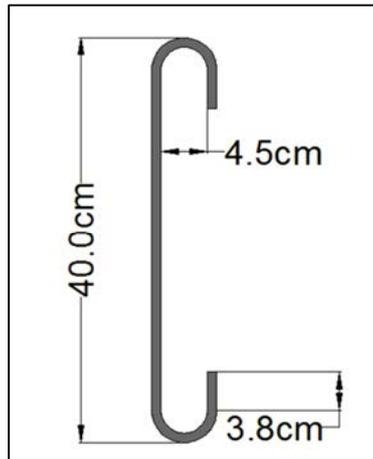


Figura 21. Detalle de varilla vertical #3, cuarto extremo de pared.

Varilla horizontal #3.

Gancho estándar de 180°, de acuerdo con la sección 9.3.3.b, muros de corte, la extensión mínima es de 15 cm.

Gancho estándar de 180°: según la sección 9.4.3.d del CSCR-2010, el diámetro de doblé del gancho estándar 180° no debe ser menor que $6 d_b = 6 \times 0.95 = 5.7 \text{ cm}$. Sin embargo, en este caso por razones del montaje se redujo a 3.5 cm.

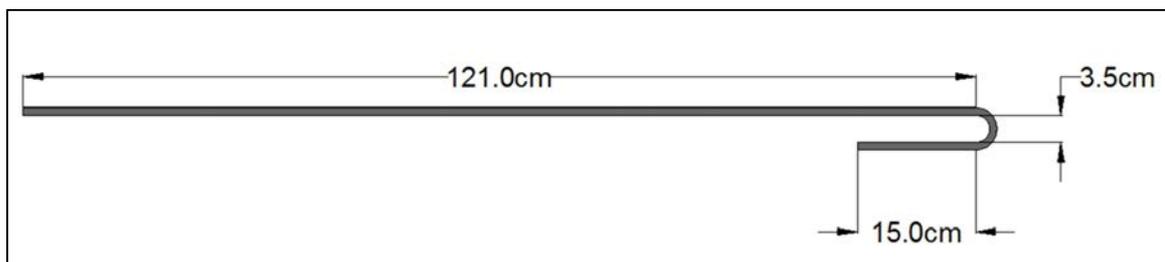


Figura 22. Detalle de varilla horizontal, cuarto extremo de pared.

Las vistas en planta y lateral de este tipo de espécimen se detallan en las siguientes dos figuras:

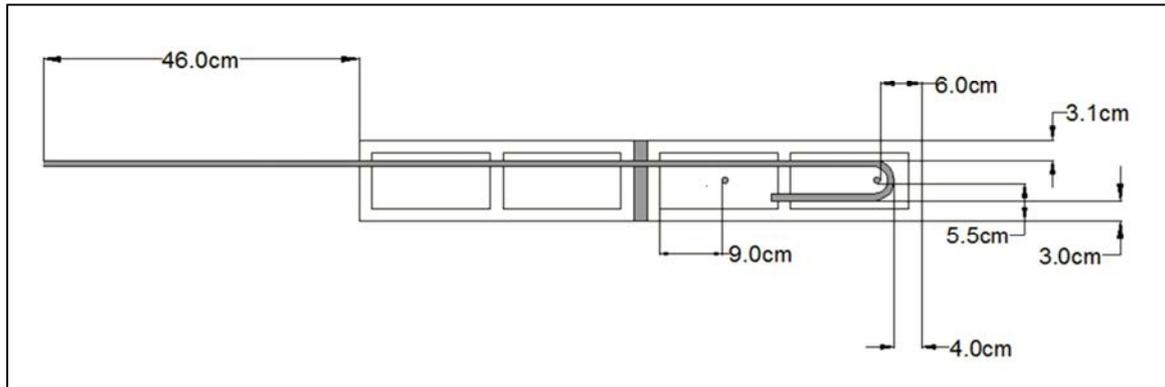


Figura 23. Vista en planta, cuarto extremo de pared.

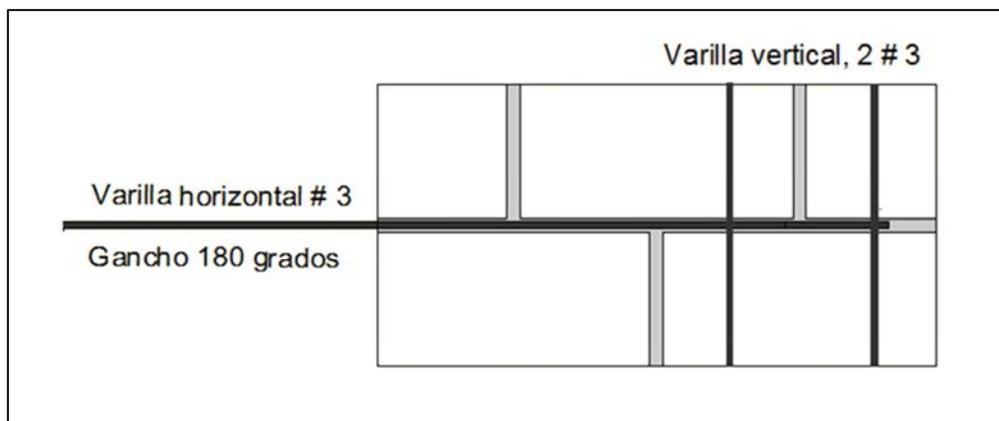


Figura 24. Vista lateral, cuarto extremo de pared.

5.2.5 Primer tipo de traslazo

El primer tipo de traslazo que se analizó consistió en un espécimen de dos hiladas de tres bloques (120cm x 40cm), el refuerzo vertical fue de 2 varillas #3 a cada 60 cm y el horizontal 2 varillas #3 colocadas en la sisa y con un gancho estándar de 180°.

La longitud del empalme se calculó de acuerdo con las siguientes secciones y ecuaciones del CSCR-2010.

Sección 9.4.3.f de empalmes

$$l_{empalme} = \frac{l_{de}}{\phi} \geq 40 \text{ cm}$$

Sección 9.4.3.e de longitud de desarrollo

$$l_{de} = \frac{0.566 d_b^2 f_y}{K \sqrt{f'_m}}$$

$$30 \text{ cm} < l_{de} \leq 52d_b$$

$$52d_b = 52 \times 0.95 = 49.4 \text{ cm}$$

K= recubrimiento lateral $((12-0.95)/2 = 5.53 \text{ cm})$ o separación libre entre varillas (60 cm), el que sea menor (rige 5.53 cm).

$$k < 5d_b = 5 \times 0.95 = 4.75 \text{ cm Rige}$$

$$l_{de} = \frac{0.566 \times 0.95^2 \times 2800}{4.75 \sqrt{89.47}} = 31.83 \text{ cm} \leq 52d_b$$

$$31.83 \leq 52d_b = 49.4 \text{ ok}$$

$$l_{de} > 30; 31.83 \text{ cm} > 30 \text{ cm ok}$$

$$l_{empalme} = \frac{31.83}{0.75} = 42.44 \text{ cm} \cong 43 \text{ cm}$$

Varilla vertical #3.

Gancho estándar de 180°: según la sección 9.4.3.c. del CSCR-2010 la extensión debe ser como mínimo $4 d_b = 4 \times 0.95 = 3.8 \text{ cm}$.

Diámetro de doblé: según la sección 9.4.3.d del CSCR-2010 el diámetro de doblé del gancho estándar de 180° debe ser no menor que $6 d_b = 6 \times 0.95 = 5.7 \text{ cm}$. Sin embargo, al igual que en los casos anteriores, por razones constructivas el diámetro de doblé se redujo a 4.5 cm.

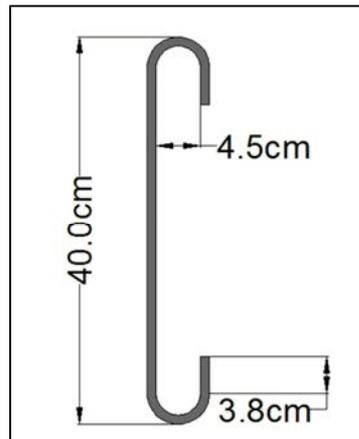


Figura 25. Detalle de varilla vertical #3, primer tipo de traslapo.

Varilla horizontal #3.

Gancho estándar de 180°, de acuerdo con la sección 9.3.3.b, muros de corte, la extensión mínima es de 15 cm.

Gancho estándar de 180°, según la sección 9.4.3.d CSCR-2010, el diámetro de doblé no debe ser menor que $6 d_b = 6 \times 0.95 = 5.7 \text{ cm}$.

Ambas varillas, presentaban los mismos detalles constructivos.

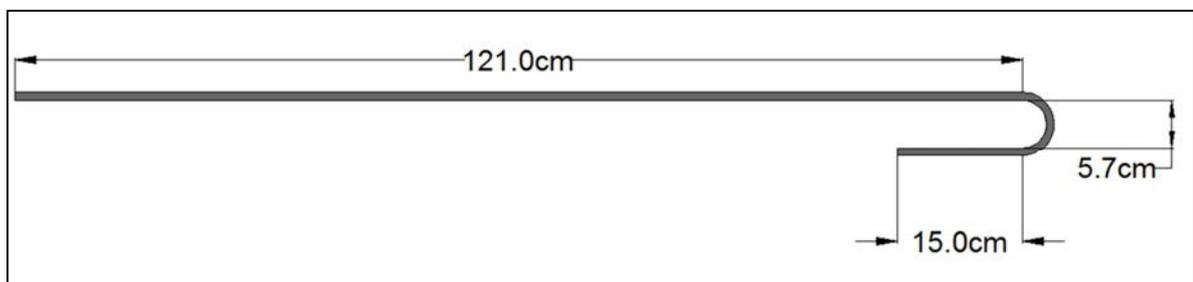


Figura 26. Detalle de varilla horizontal, primer tipo de traslapo.

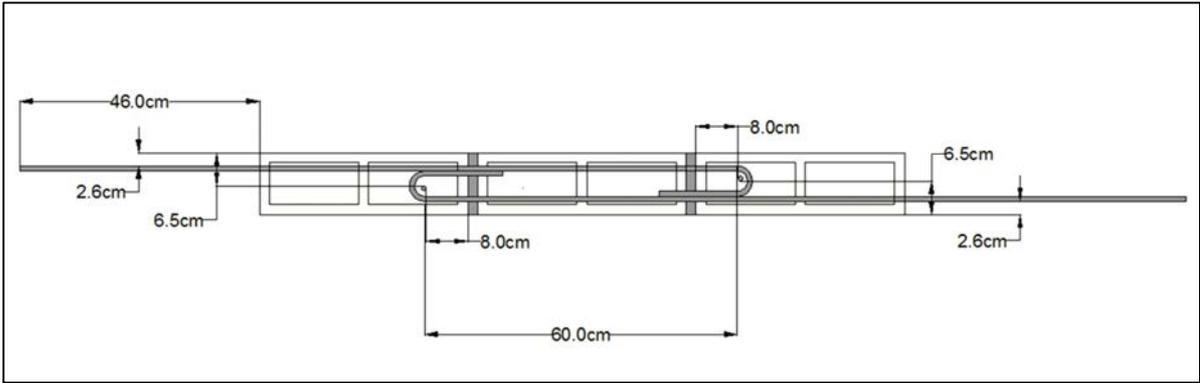


Figura 27. Vista en planta, primer tipo de traslazo.

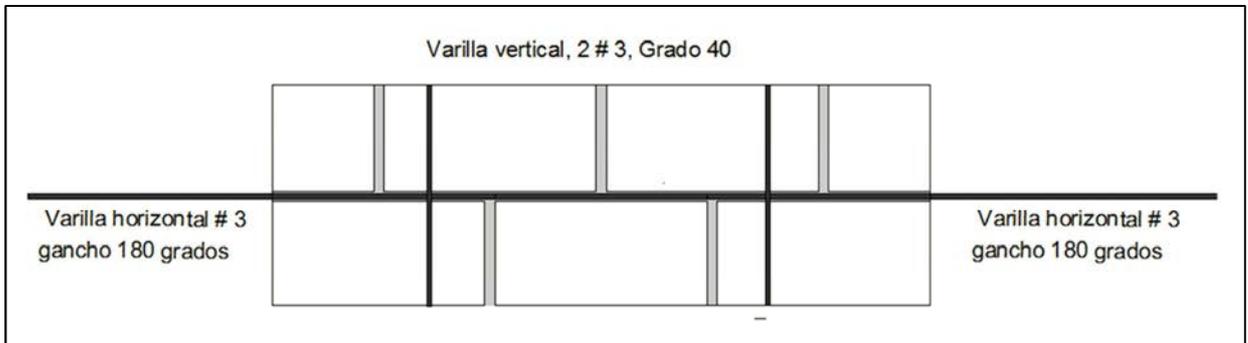


Figura 28. Vista lateral, primer tipo de traslazo.

5.2.6 Segundo tipo de traslazo

El segundo tipo de traslazo que se analizó consistió en un espécimen de dos hiladas de tres bloques (120cm x 40cm), el refuerzo vertical fue de 2 varillas #3 a cada 60 cm y el horizontal 2 varillas #3 colocadas en viga bloque y sin gancho.

La longitud del empalme de este espécimen es igual al calculado en el primer tipo de traslazo.

Varilla vertical #3.

Gancho estándar de 180°: según la sección 9.4.3.c. del CSCR-2010 la extensión debe ser como mínimo $4 d_b = 4 \times 0.95 = 3.8$ cm.

Diámetro de doblé: según la sección 9.4.3.d del CSCR-2010 el diámetro de doblé del gancho estándar de 180° debe ser no menor que $6 d_b = 6 \times 0.95 = 5.7 \text{ cm}$. Sin embargo, al igual que en el caso anterior, por razones constructivas el diámetro de doblé se redujo a 4.5 cm.

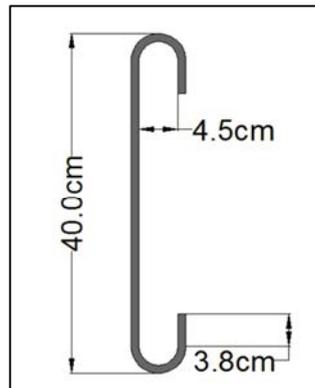


Figura 29. Detalle de varilla vertical #3, segundo tipo de traslapo.

Varilla horizontal #3.

En este caso las varillas horizontales eran sin gancho.

Las vistas en planta y lateral de este tipo de espécimen se detallan en las siguientes dos figuras:

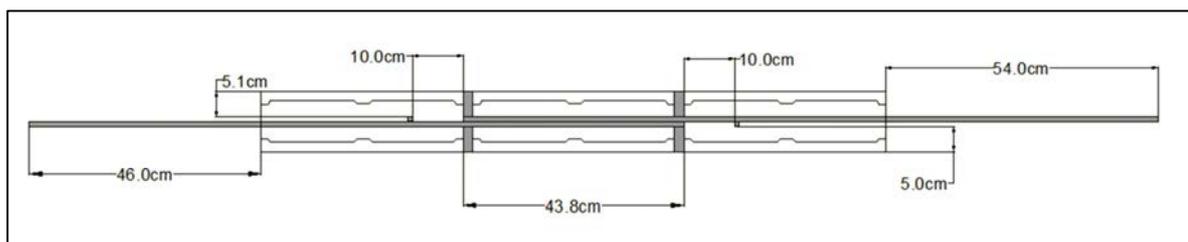


Figura 30. Vista en planta, segundo tipo de traslapo.

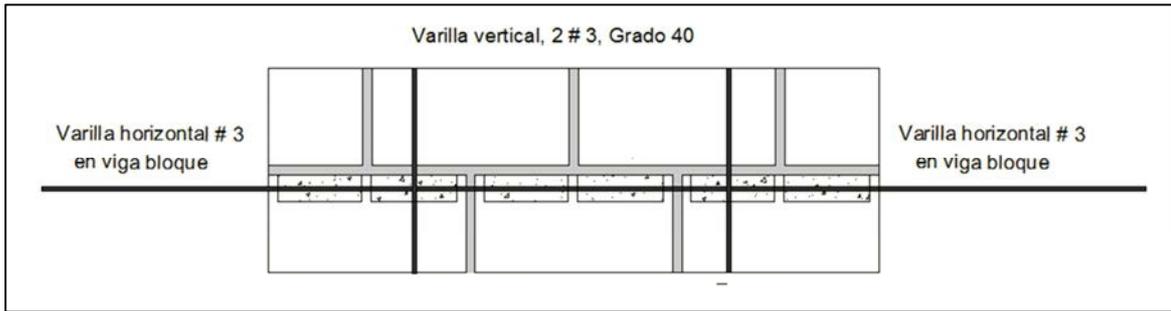


Figura 31. Vista lateral, segundo tipo de traslapo.

5.3 Proceso constructivo

Para la construcción de los especímenes se contrató a un operario de albañilería, el cual fue recomendado, pues anteriormente ya había construido y trabajado en el Lanamme en otros proyectos de graduación relacionados con mampostería.

La primera etapa consistió en el corte de las varillas, de acuerdo con las especificaciones mostradas en la sección anterior.



Figura 32. Varillas verticales dobladas.



Figura 33. Varilla horizontal #3 con gancho de 180°.

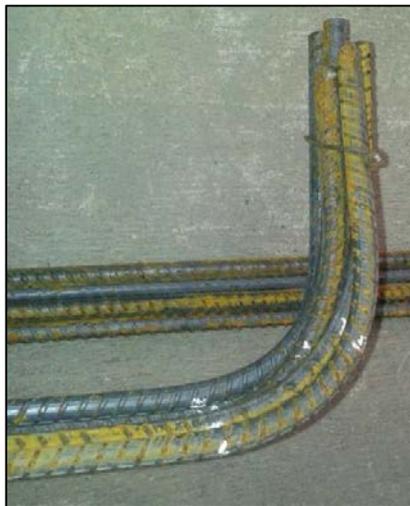


Figura 34. Varilla horizontal #3, con gancho de 90°.



Figura 35. Varillas horizontales #3 con gancho de 180° y 90°.

Una vez con todas las varillas dobladas se procedió a pegar los bloques de los seis tipos de especímenes, colocándoles las varillas que le correspondían a cada uno.

Se construyeron cinco especímenes del primer extremo de pared, el cual consistió en una varilla vertical #4 y una varilla horizontal #3 con gancho de 90°.



Figura 36. Primer extremo de pared, varilla vertical #4.



Figura 37. Pega de bloques, primer extremo de pared.



Figura 38. Cinco especímenes, primer extremo de pared.

Posteriormente se continuó con la construcción del segundo extremo de pared, 2 varillas #3 verticales y una varilla horizontal #3 con gancho de 90°.



Figura 39. Segundo extremo de pared, 2 varillas verticales #3 y varilla horizontal #3 con gancho de 90°.



Figura 40. Colocación de varillas y pega de bloques, segundo extremo de pared.



Figura 41. Colocación de mortero de pega, segundo extremo de pared.



Figura 42. Cinco especímenes del segundo extremo de pared casi listos.

El tercer extremo de pared, requería de una varilla vertical #4 y una varilla #3 horizontal con un gancho de 180°.



Figura 43. Tercer extremo de pared, varilla vertical #4 y varilla horizontal #3 con gancho de 180°.



Figura 44. Cinco especímenes, tercer extremo de pared.

El cuarto extremo de pared estuvo confeccionado por dos varillas verticales #3 y una varilla horizontal #3 con gancho de 180°.



Figura 45. Detalle de cuarto extremo de pared.



Figura 46. Especímenes de cuarto extremo de pared en construcción.



Figura 47. Especímenes de cuarto extremo de pared en construcción.

El primer tipo de traslapo, consistió en dos varillas verticales #3 a cada 60 cm y dos varillas horizontales #3 con gancho de 180° traslapadas 60 cm.



Figura 48. Detalle de primer tipo de traslapo.



Figura 49. Especímenes de primer tipo de traslapo en construcción.



Figura 50. Especímenes de primer tipo de traslapo en construcción.

El segundo tipo de traslapo tenía dos varillas verticales #3 a cada 60 cm y dos varillas horizontales #3 traslapadas 44 cm, sin ningún tipo de gancho y colocadas en viga bloque.



Figura 51. Detalle de segundo tipo de traslapo, con viga bloque.

En este caso, es importante tomar en consideración que la varilla quede bien embebida en concreto, pues en ocasiones la varilla puede presentar deformaciones que provoquen un mal recubrimiento.



Figura 52. Segundo tipo de traslapo en proceso de construcción.

Finalmente se hizo la mezcla de concreto de relleno, de acuerdo con la dosificación del diseño de mezcla para rellenar todas las celdas en donde se colocaron las varillas verticales de los treinta especímenes construidos.



Figura 53. Especímenes listos con concreto de relleno.



Figura 54. Especímenes listos con concreto de relleno.



Figura 55. Espécimen con concreto de relleno.

En los treinta especímenes la varilla vertical tuvo un recubrimiento de 0.75 cm arriba y abajo.

5.4 Montaje y pruebas

Para realizar las fallas de los especímenes fue necesario diseñar un aditamento que se encargara de retener el espécimen a fallar y que al mismo tiempo dejara pasar la varilla que iba a ser extraída por el gato hidráulico.



Figura 56. Aditamento diseñado para poder realizar el montaje.

Por otro lado, para que el gato hidráulico pudiera agarrar la varilla de cada uno de los especímenes, se soldó una placa de acero a cada una de ellas, y de esta manera podían ser fijadas en un aditamento que se encontraba disponible en el laboratorio de escala natural del Lanamme, y el cual se ancla directamente al gato hidráulico.

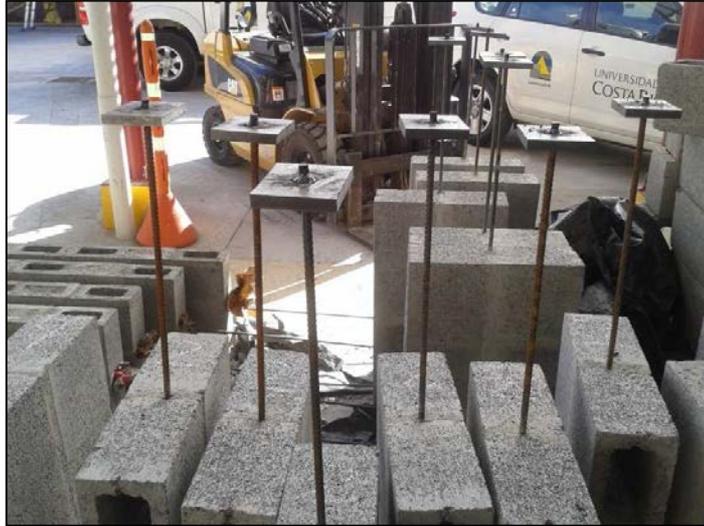


Figura 57. Especímenes con la placa soldada.



Figura 58. Aditamento que conecta el gato hidráulico y la varilla de los especímenes.

Para determinar el largo de la varilla de los especímenes, se tomó en cuenta la modulación de los pernos del piso fuerte y además que la carrera del gato hidráulico fuera la suficiente para que la falla de los especímenes se lograran satisfactoriamente. En la siguiente figura se muestra el montaje de los especímenes tipo 1, 2, 3 y 4.

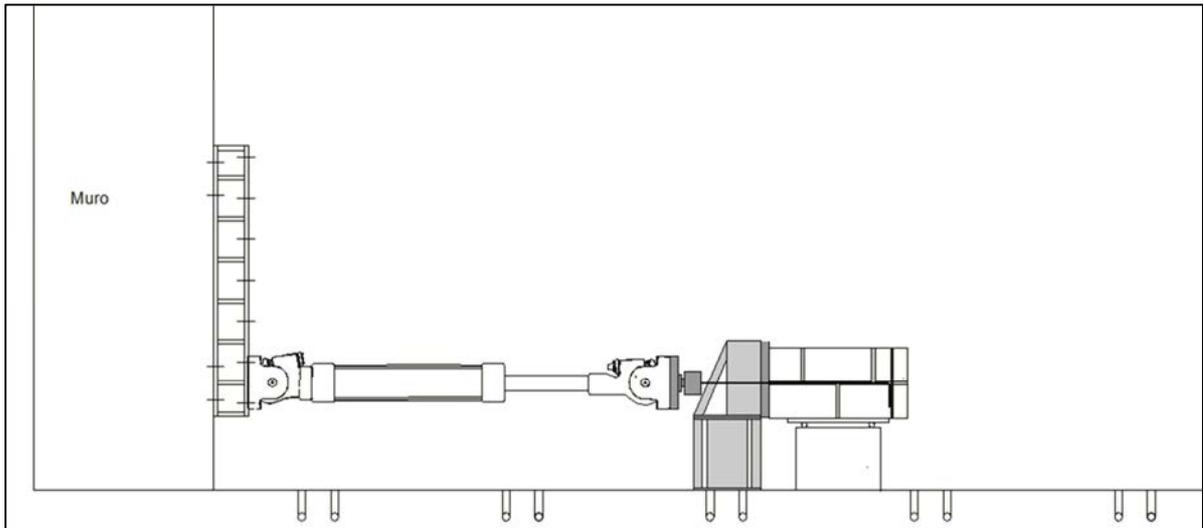


Figura 59. Montaje de los especímenes 1, 2, 3 y 4.



Figura 60. Montaje de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

En el caso de los especímenes 5 y 6 de traslapos, fue necesario soldar una placa a cada una de las varillas, una para que la varilla fuera acoplada al gato hidráulico y la otra para ser anclada a un muro, según se observa en la siguiente figura.

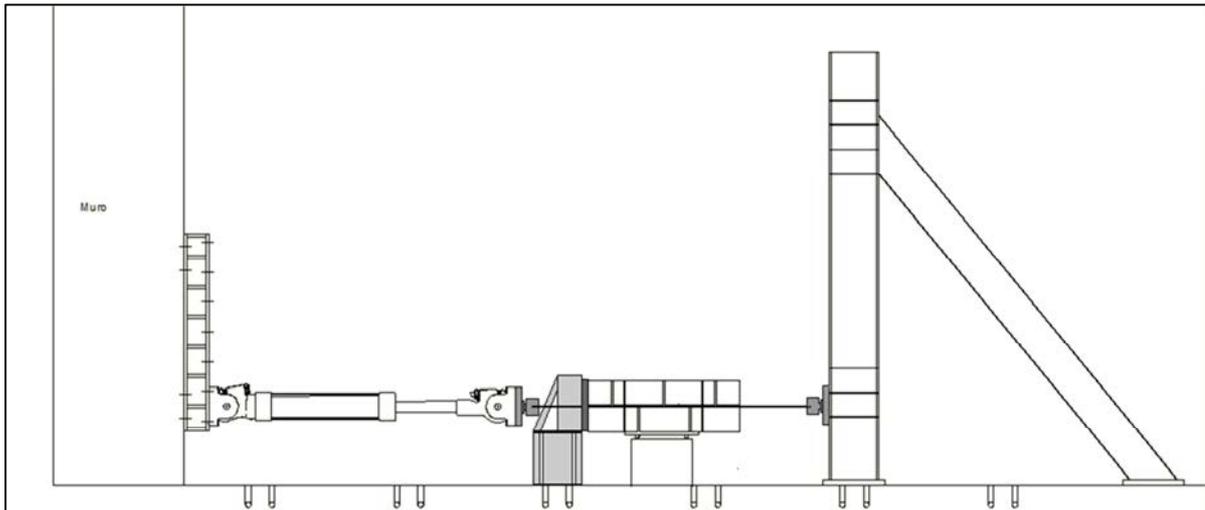


Figura 61. Montaje de los especímenes 5 y 6.



Figura 62. Montaje de los especímenes 5 y 6.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se presentan los resultados de las pruebas realizadas para cada espécimen y el análisis respectivo de cada ensayo.

6.1 Extremo de pared con una celda rellena (varilla #4) y varilla horizontal anclada con gancho estándar de 90°.

El primer espécimen que se falló tenía una varilla vertical #4 y una varilla horizontal #3 anclada con un gancho estándar de 90°.

Al ser la varilla horizontal grado 40, la carga teórica necesaria para que la varilla ceda es aproximadamente 1985 kg. En el caso de este primer espécimen el comportamiento de la varilla se describe en la figura 63.

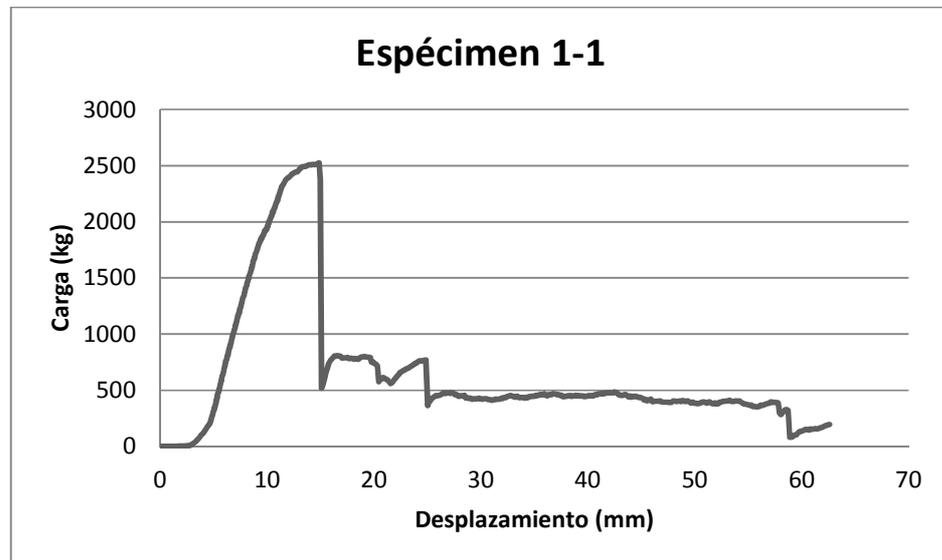


Figura 63. Curva carga-desplazamiento, espécimen 1-1 (gancho 90° varilla #4).

Según el gráfico anterior se alcanzó una carga máxima de 2523 kg, es decir que superó en un 27.2% la carga teórica de cedencia de la varilla.

En este caso, el gancho estándar de 90° se empezó a deformar, rompiendo los bloques de mampostería hasta separar las dos hiladas y finalmente la varilla se deslizó al ser extraída por el gato hidráulico.

Es importante comentar que el primer tramo de la curva que se observa en la figura 63, donde la varilla aún no ha tomado carga, se debe al desplazamiento del gato hidráulico durante su acomodo para iniciar la prueba.



Figura 64. Resultado de la falla espécimen 1-1.



Figura 65. Resultado de la falla, gancho estándar de 90° deformado, espécimen 1-1.

En la figura 66 se puede observar el comportamiento del segundo espécimen del primer tipo de pared que se falló.

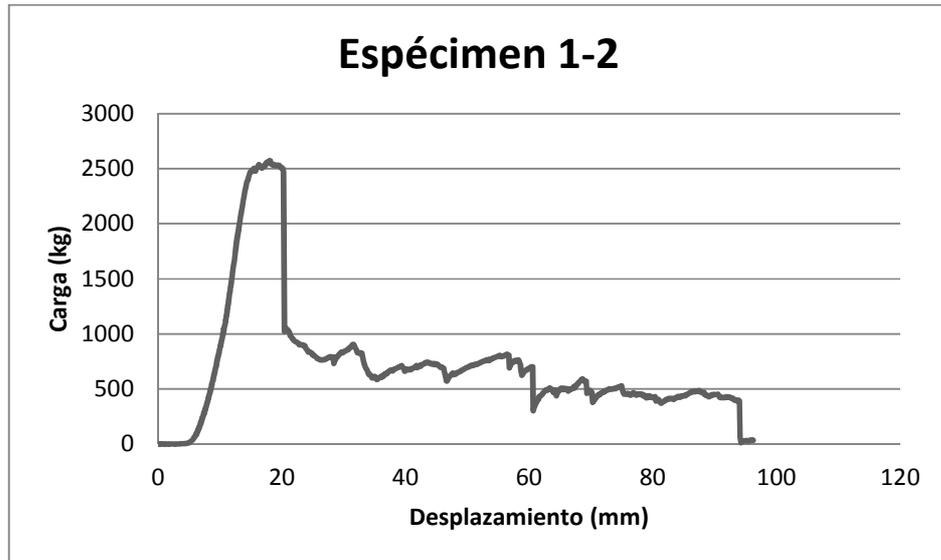


Figura 66. Curva carga-desplazamiento, espécimen 1-2 (gancho 90° varilla #4).

La carga máxima obtenida según la figura anterior fue de 2573 kg, superando en un 29.6% la carga teórica de cedencia de la varilla.

Al igual que en la falla anterior el gancho estándar de 90° se deformó quebrando los bloques de mampostería y finalmente la varilla se deslizó.

Al igual que en el caso anterior, el primer tramo de la curva, donde no se toma carga se da por las mismas razones expuestas en el espécimen 1-1.



Figura 67. Resultado de la falla espécimen 1-2.



Figura 68. Resultado de la falla espécimen 1-2.



Figura 69. Resultado de la falla, gancho estándar de 90° deformado, espécimen 1-2.

En el caso del tercer espécimen fallado, se alcanzó una carga máxima de 2558 kg según se muestra en la siguiente figura.

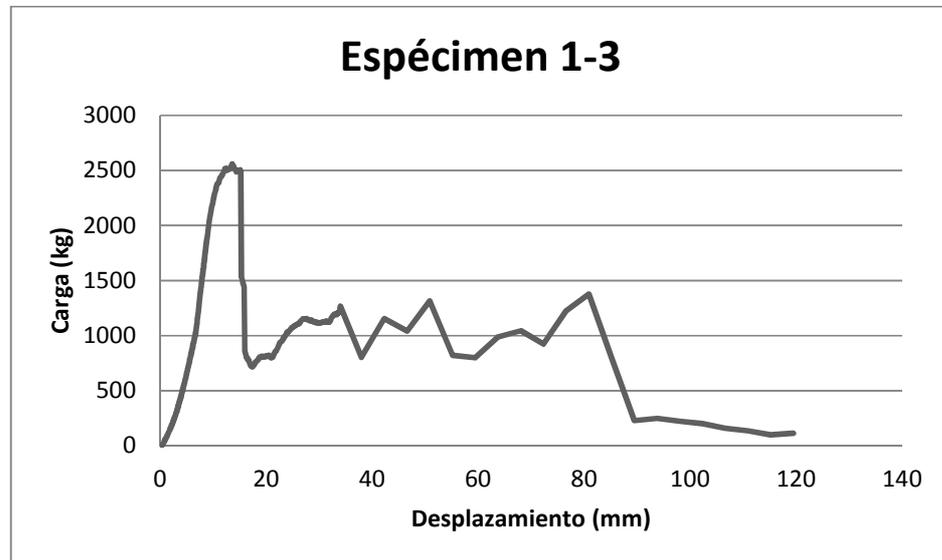


Figura 70. Curva carga-desplazamiento, espécimen 1-3 (gancho 90° varilla #4).

De acuerdo con la carga máxima obtenida, se obtuvo un 28.8% por arriba de la carga teórica de cedencia de la varilla y al igual a los dos casos anteriores el gancho estándar de 90° se deformó, hasta quebrar los bloques y deslizarse la varilla.



Figura 71. Resultado de la falla espécimen 1-3.



Figura 72. Resultado de la falla espécimen 1-3, bloques quebrados.

El espécimen 1-4 alcanzó una carga máxima de 2504 kg, lo que significa un 26.1% por arriba del valor de la carga teórica de cedencia.

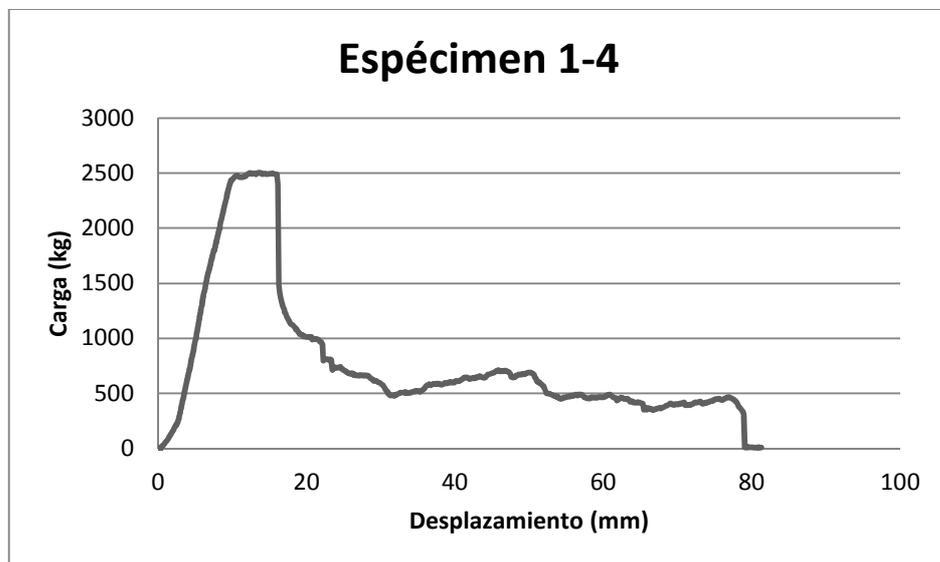


Figura 73. Curva carga-desplazamiento, espécimen 1-4 (gancho 90° varilla #4).

El espécimen 1-4 tuvo el mismo patrón de falla de los tres anteriores, los bloques de la segunda hilada prácticamente se separan de la primera hilada.



Figura 74. Resultado de la falla espécimen 1-4.



Figura 75. Resultado de la falla, gancho estándar de 90° deformado, espécimen 1-4.

Y finalmente el espécimen 1-5 alcanzó una carga máxima de 3126 kg, es decir que superó en un 57.5% la carga teórica de cedencia de la varilla. En la figura 76 se muestra el comportamiento de la varilla.

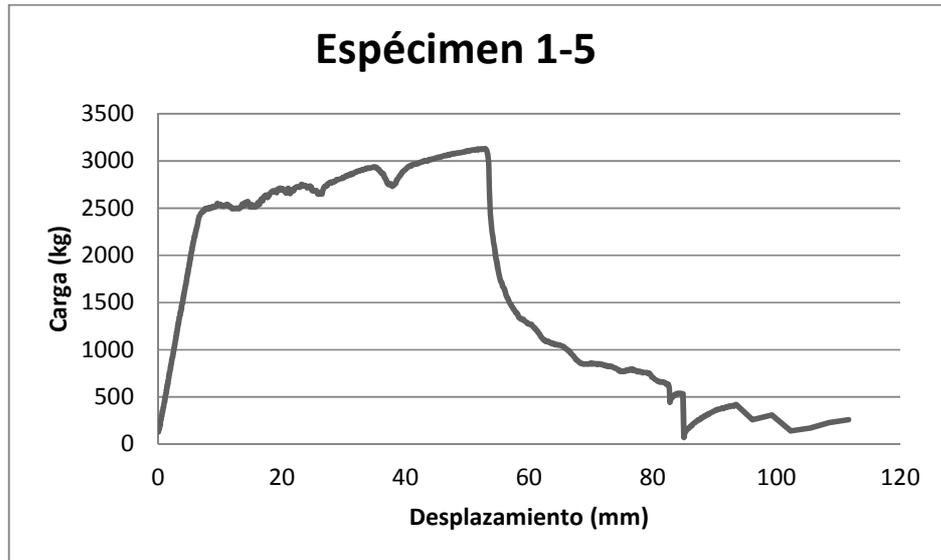


Figura 76. Curva carga-desplazamiento, espécimen 1-5 (gancho 90° varilla #4).

En la siguiente figura se muestra el espécimen durante el proceso de falla, se observa como los bloques se quiebran ante la fuerza de tracción a la que está sometida la varilla.



Figura 77. Resultado de la falla espécimen 1-5.



Figura 78. Resultado de la falla, gancho estándar de 90° deformado, espécimen 1-5.

6.2 Extremo de pared con dos celdas rellenas (2 varillas #3) y varilla horizontal con gancho estándar de 90°.

El espécimen 2-1 logró alcanzar una carga de 3732 kg, lo que quiere decir que superó en un 88.0% la carga teórica de cedencia de la varilla. En la siguiente figura se puede observar su comportamiento.

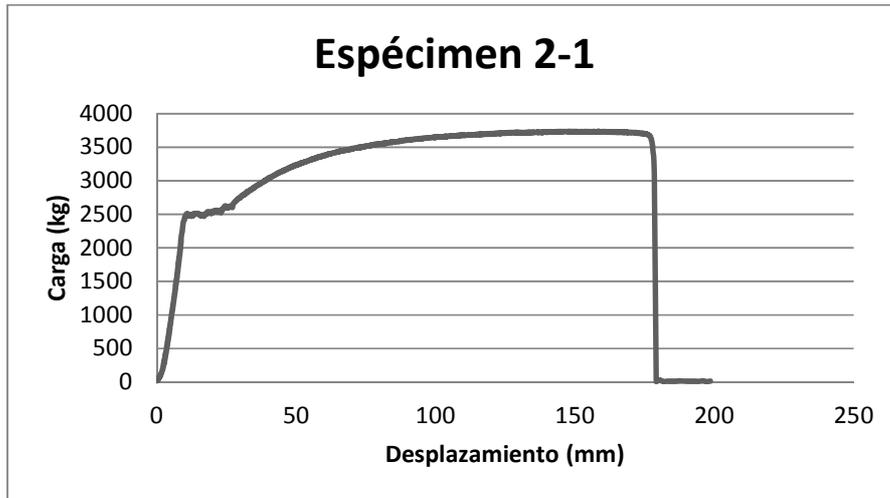


Figura 79. Curva carga-desplazamiento, espécimen 2-1 (gancho 90° 2 varillas #3).

En el caso de este espécimen, la varilla alcanzó su carga máxima hasta alcanzar la ruptura y con esto finalizó la prueba.



Figura 80. Especimen 2-1 listo para empezar a fallar.



Figura 81. Resultado de la falla, ruptura de la varilla, espécimen 2-1.

El espécimen 2-2 consiguió una carga máxima de 3737 kg, según se muestra en la figura 82.

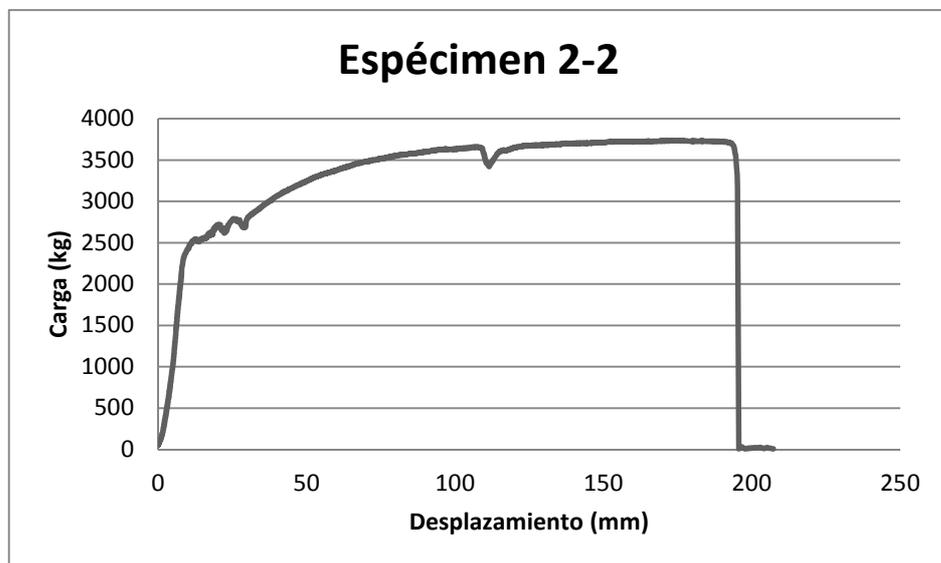


Figura 82. Curva carga-desplazamiento, espécimen 2-2 (gancho 90° 2 varillas #3).

De acuerdo con la carga máxima obtenida se sobrepasó en un 88.3% la carga teórica de cedencia de la varilla.



Figura 83. Espécimen 2-2 listo para empezar a fallar.

Al igual que en el caso anterior la falla terminó en el momento que se dio la ruptura de la varilla.



Figura 84. Resultado de la falla, ruptura de la varilla, espécimen 2-2.

En el caso del espécimen 2-3, la carga máxima alcanzada fue de 3655 kg, según se observa en la figura 85.

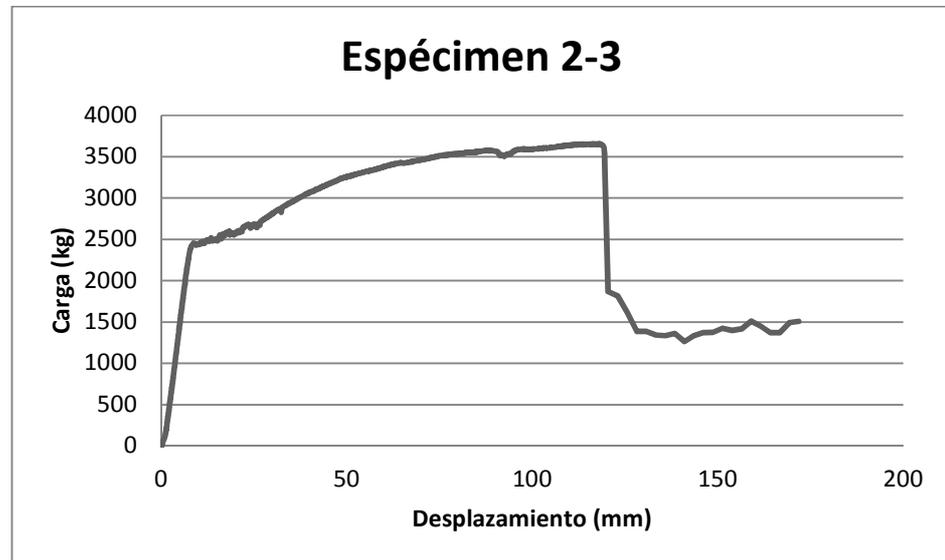


Figura 85. Curva carga-desplazamiento, espécimen 2-3 (gancho 90° 2 varillas #3).

Según los datos obtenidos, la carga máxima superó en un 84.1% la carga teórica de cedencia de la varilla.



Figura 86. Especimen 2-3 listo para empezar a fallar.

En este caso, la varilla no llegó al punto de ruptura, sino que el gancho estándar de 90° cedió y la varilla se deslizó ante la fuerza aplicada por parte del gato hidráulico.



Figura 87. Resultado de la falla, gancho estándar de 90° deformado, espécimen 2-3.

Por otra parte, el espécimen 2-4 obtuvo una carga máxima de 3595 kg, lo que significa que superó en un 81.1% la carga teórica de cedencia de la varilla. Los resultados se pueden observar en la figura 88.

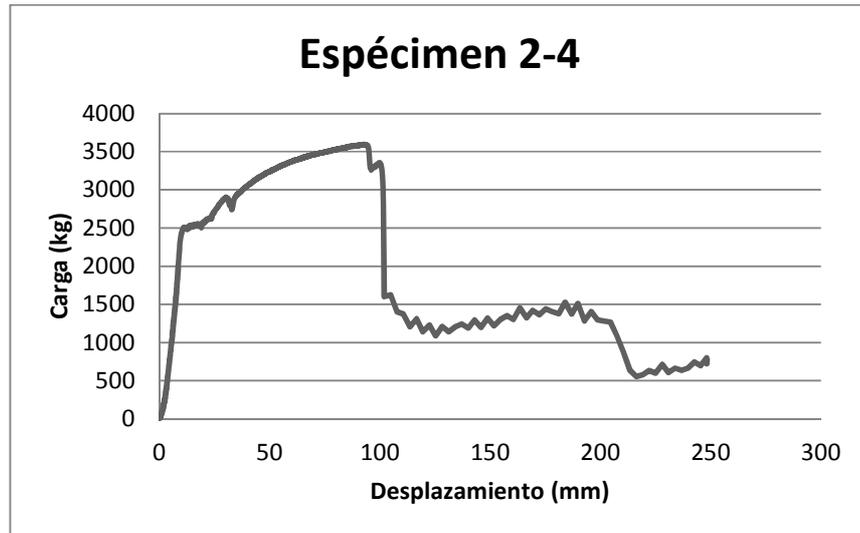


Figura 88. Curva carga-desplazamiento, espécimen 2-4 (gancho 90° 2 varillas #3).



Figura 89. Especimen 2-4 listo para empezar a fallar.

El espécimen 2-4 al igual que el 2-3 no sufrió de ruptura de la varilla; el gancho estándar de 90° se deformó y la varilla se deslizó.



Figura 90. Resultado de la falla, gancho estándar de 90° deformado, espécimen 2-4.

El espécimen 2-5 alcanzó una carga de 3310 kg, es decir, superó en un 66.8% la carga teórica de cedencia de la varilla. Los resultados se muestran en la figura 91.

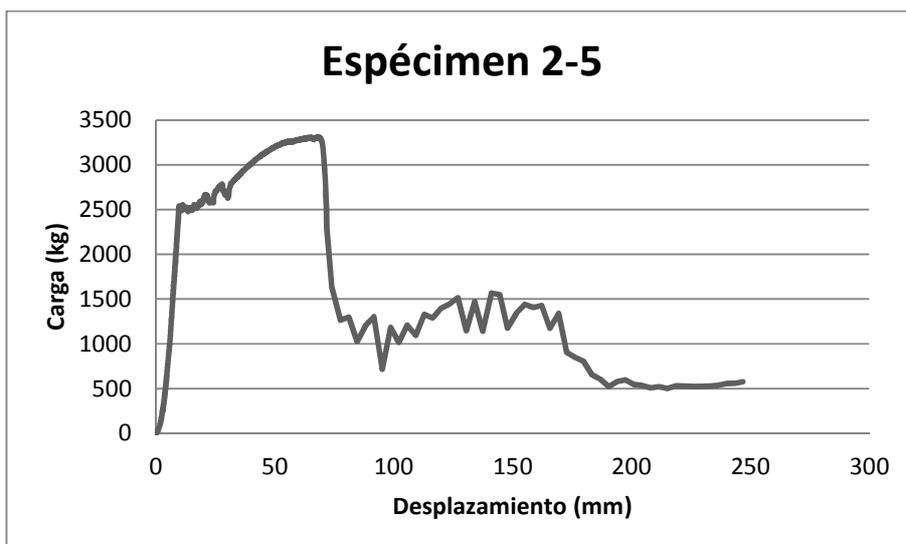


Figura 91. Curva carga-desplazamiento, espécimen 2-5 (gancho 90° 2 varillas #3).

Al igual que en los dos casos anteriores la falla se dio por deslizamiento de la varilla al deformarse el gancho estándar de 90°.



Figura 92. Espécimen 2-5 listo para empezar a fallar.

6.3 Extremo de pared con una celda rellena (varilla #4) y varilla horizontal anclada con gancho estándar de 180°.

El espécimen 3-1 consiguió una carga máxima de 3681 kg, lo que quiere decir que superó en un 85.4% la carga teórica de cedencia de la varilla. En la siguiente figura se detalla el comportamiento de la varilla durante la prueba.

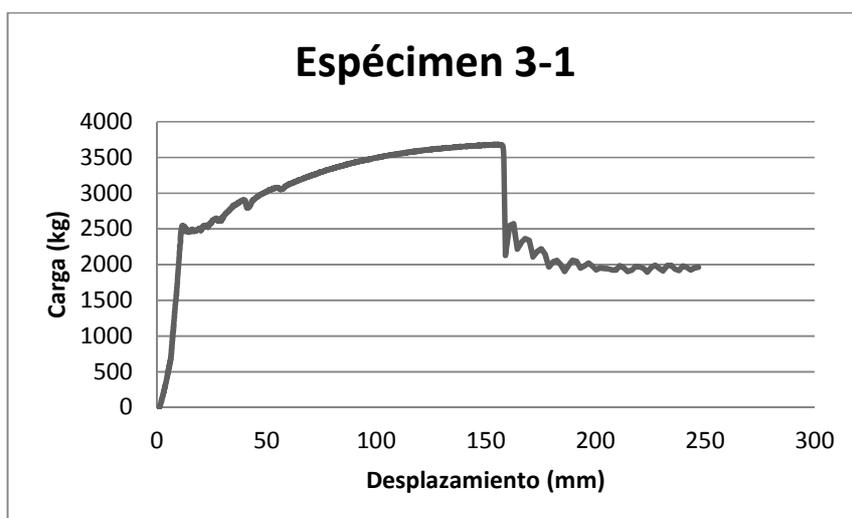


Figura 93. Curva carga-desplazamiento, espécimen 3-1 (gancho 180° varilla #4).



Figura 94. Espécimen 3-1, listo para empezar a fallar.

En este caso el gancho estándar de 180° se empezó a deformar, hasta alcanzar el punto en el que la varilla se deslizó.



Figura 95. Resultado de la falla, gancho estándar de 180° deformado, espécimen 3-1.

En el caso del espécimen 3-2, logró alcanzar una carga máxima de 2696 kg, es decir, que superó en un 35.8% la carga teórica de cedencia de la varilla. El comportamiento de la varilla se muestra en la figura 96.

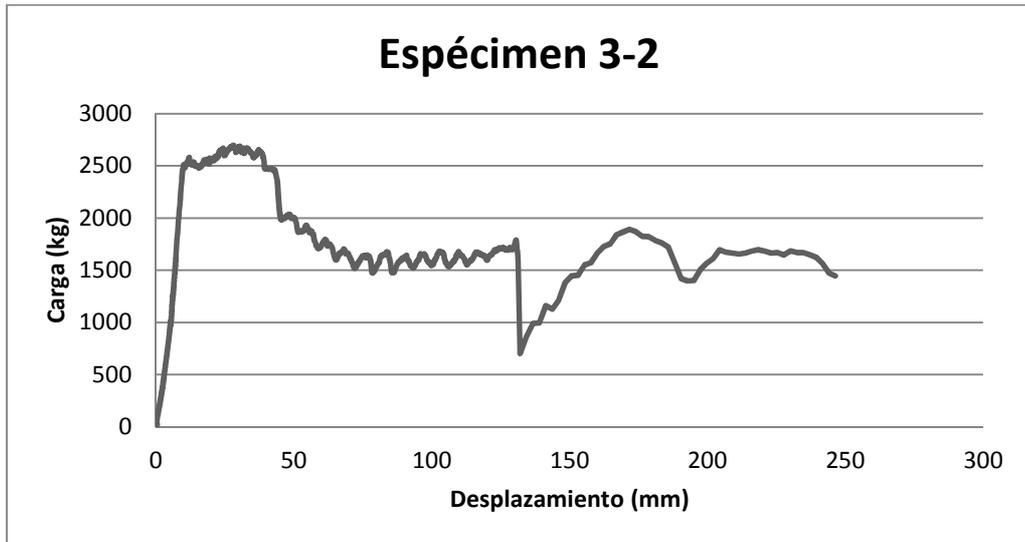


Figura 96. Curva carga-desplazamiento, espécimen 3-2 (gancho 180° varilla #4).



Figura 97. Especimen 3-2, listo para empezar a fallar.

Al igual que en el caso anterior el gancho estándar de 180° se deformó hasta el punto que la varilla se deslizó.



Figura 98. Resultado de la falla, gancho estándar de 180° deformado, espécimen 3-2.

El espécimen 3-3 logró una carga máxima de 2933 kg, lo que significa un 47.7% por arriba de la carga teórica de cedencia de la varilla. El comportamiento de este espécimen se observa en la figura 99.

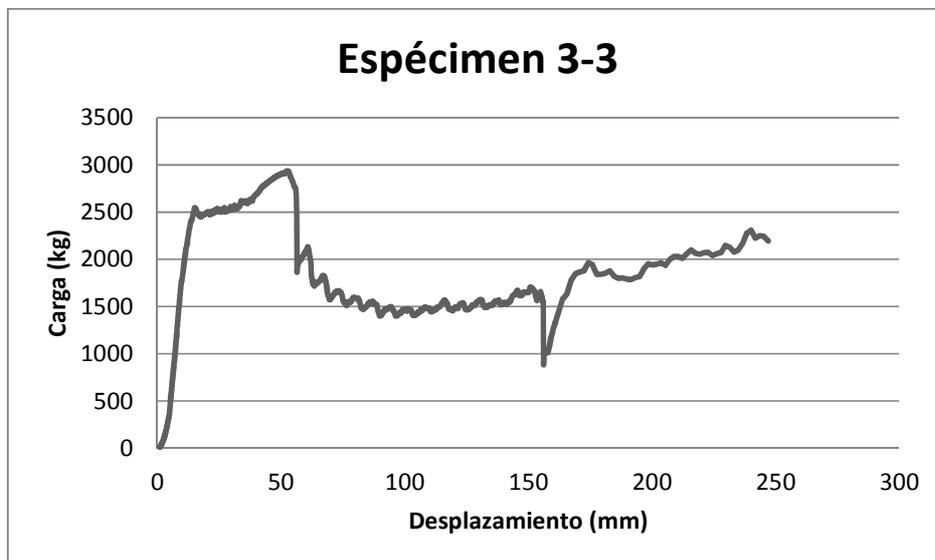


Figura 99. Curva carga-desplazamiento, espécimen 3-3 (gancho 180° varilla #4).

Durante el proceso de falla los bloques se empezaron a separar y a quebrar como consecuencia de la fuerza de tracción que sufría la varilla, hasta que el gancho estándar de 180° cedió y la varilla se deslizó.



Figura 100. Espécimen 3-3 durante el proceso de falla, los bloques se empiezan a separar del mortero de pega.



Figura 101. Espécimen 3-3 durante el proceso de falla, los bloques se empiezan a separar del mortero de pega.

El espécimen 3-4 obtuvo una carga máxima de 2896 kg, es decir que superó en un 45.9% la carga teórica de cedencia de la varilla. La curva carga-desplazamiento de este espécimen se muestra a continuación.

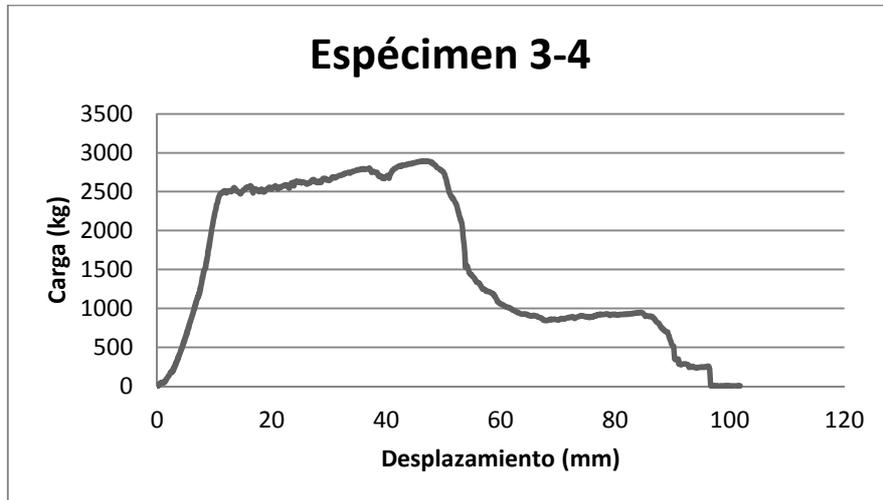


Figura 102. Curva carga-desplazamiento, espécimen 3-4 (gancho 180° varilla #4).

En el caso de este espécimen los bloques de la segunda hilada se separaron del mortero de pega, el gancho estándar de 180° empezó a ceder hasta lograr quebrar la mampostería y salirse de los bloques.



Figura 103. Especimen 3-4 durante el proceso de falla, el gancho estándar de 180° se deformó.



Figura 104. Espécimen 3-4 al final de la falla, el gancho estándar de 180° se deformó.

El espécimen 3-5 alcanzó una carga máxima de 3553 kg, con lo cual se logra superar en un 79% la carga teórica de cedencia de la varilla, según se observa en la siguiente figura.

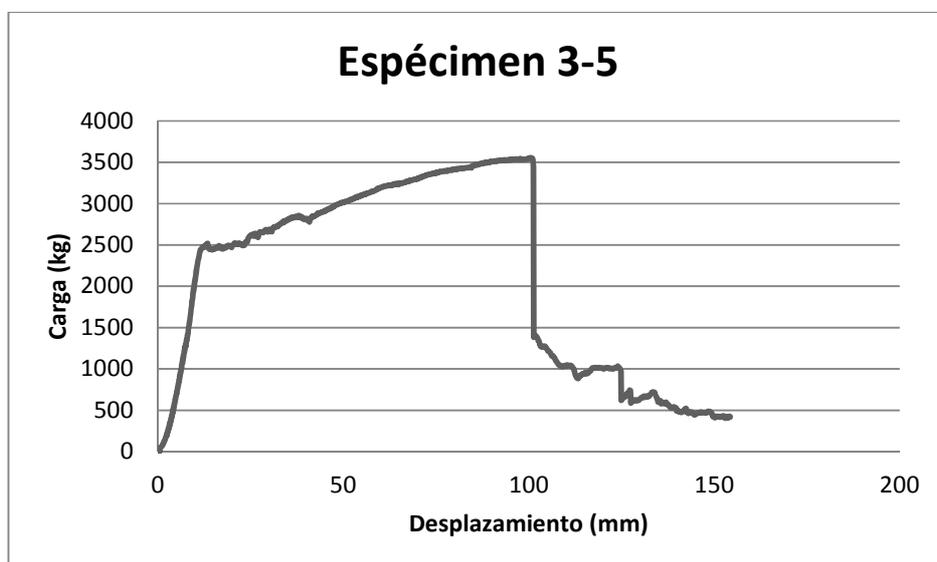


Figura 105. Curva carga-desplazamiento, espécimen 3-5 (gancho 180° varilla #4).

La falla de este espécimen finalizó al ceder el gancho estándar de 180° y deslizarse la varilla.

6.4 Extremo de pared con dos celdas rellenas (2 varillas #3) y varilla horizontal anclada con gancho estándar de 180°.

El espécimen 4-1 alcanzó una carga máxima de 3622 kg, es decir que superó en un 82.5% la carga teórica de cedencia de la varilla, en la figura 106 se detalla el comportamiento de esta varilla.

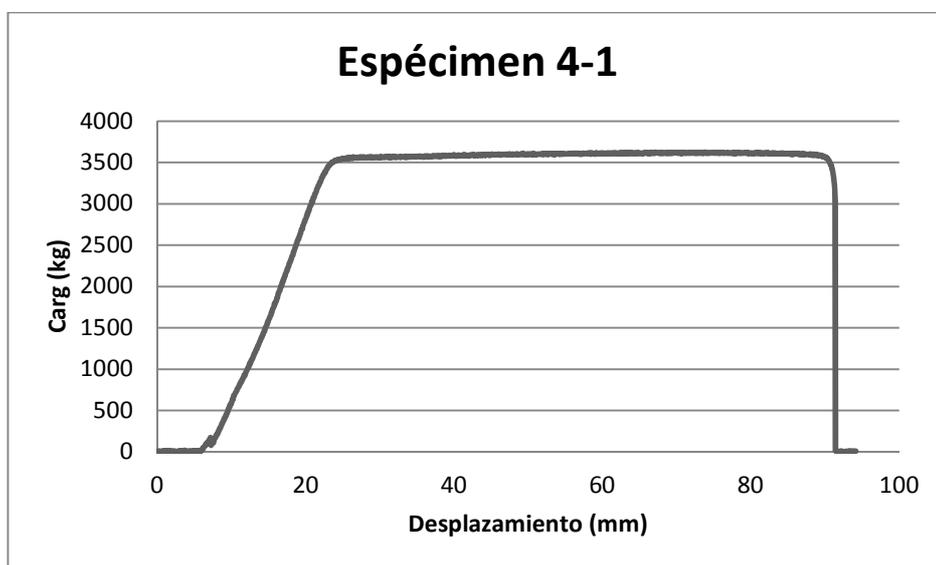


Figura 106. Curva carga-desplazamiento, espécimen 4-1 (gancho 180° 2 varillas #3).

El primer tramo de la curva donde la varilla no toma carga se debe al movimiento del gato hidráulico necesario para dar inicio a la prueba.

La falla de este espécimen finalizó con la ruptura de la varilla, según se observa en la siguiente figura.



Figura 107. Resultado de la falla, espécimen 4-1, ruptura de la varilla.



Figura 108. Resultado de la falla, espécimen 4-1.

El espécimen 4-2 alcanzó una carga máxima de 3621 kg, lo que significa que superó en un 82.4% la carga teórica de cedencia de la varilla. A continuación se muestra el proceso de falla de la varilla durante la prueba.

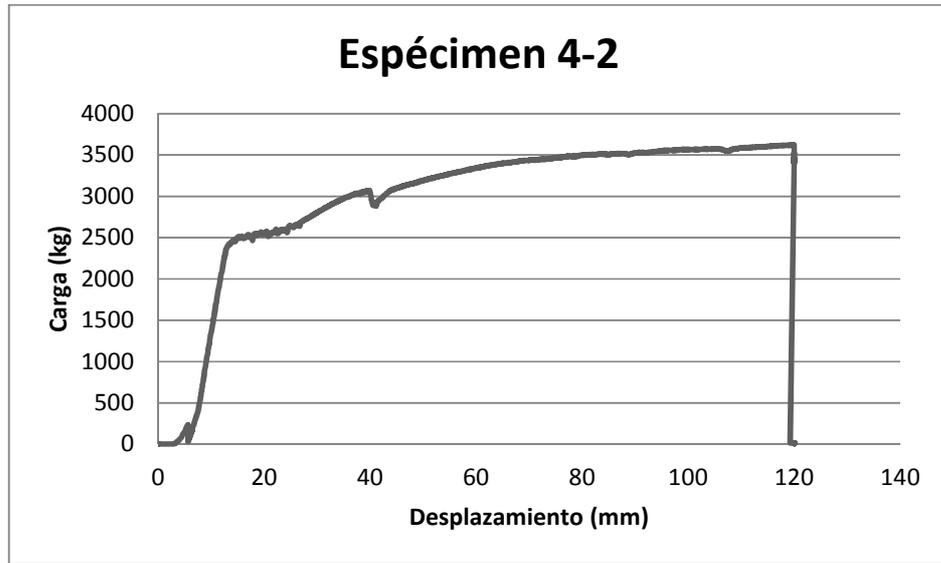


Figura 109. Curva carga-desplazamiento, espécimen 4-2 (gancho 180° 2 varillas #3).

La falla de este espécimen finalizó con la ruptura de la varilla, en las siguientes figuras se muestra el proceso de la prueba.



Figura 110. Especimen 4-2 durante el proceso de falla.



Figura 111. Espécimen 4-2 durante el proceso de falla.

El espécimen 4-3 alcanzó una carga máxima de 3735 kg, lo que quiere decir que superó en un 88.2% la carga teórica de cedencia de la varilla.

En la siguiente figura se observa el proceso de la prueba:

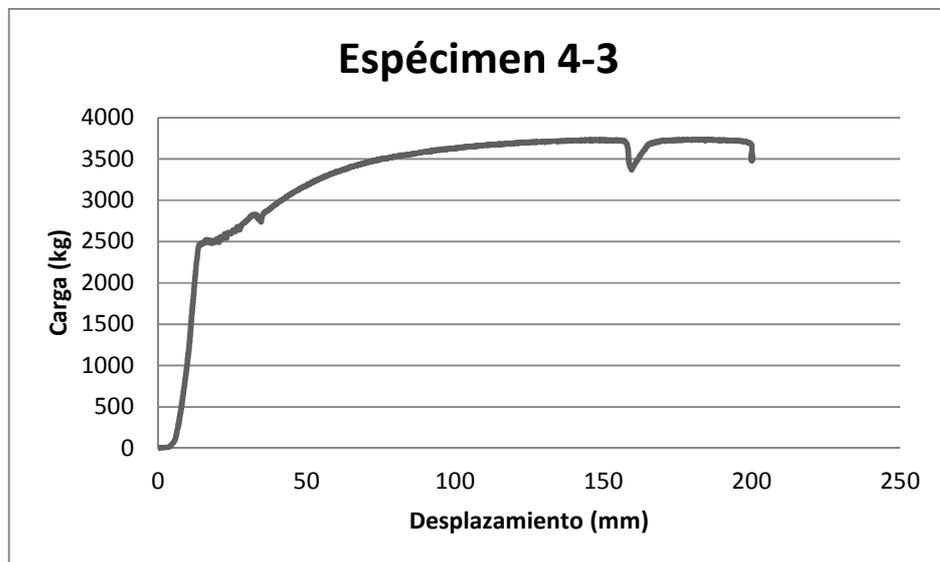


Figura 112. Curva carga-desplazamiento, espécimen 4-3 (gancho 180° 2 varillas #3).

La falla de este espécimen culminó con la ruptura de la varilla.

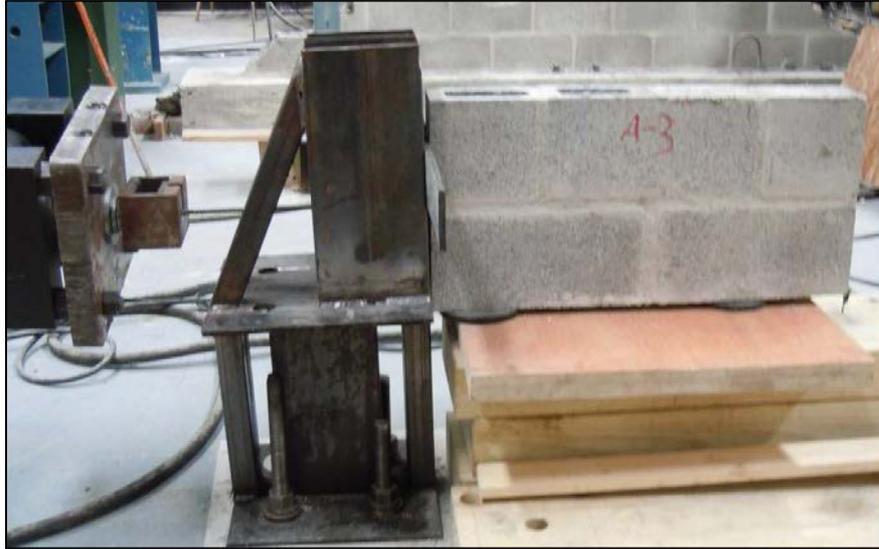


Figura 113. Espécimen 4-3, durante el proceso de falla.



Figura 114. Varilla del espécimen 4-3, durante el proceso de falla.

El espécimen 4-4 obtuvo una carga máxima de 3657 kg, con lo cual, se logra superar en un 84.2% la carga teórica de cedencia de la varilla; en la siguiente figura se muestra el comportamiento de la varilla durante la prueba.

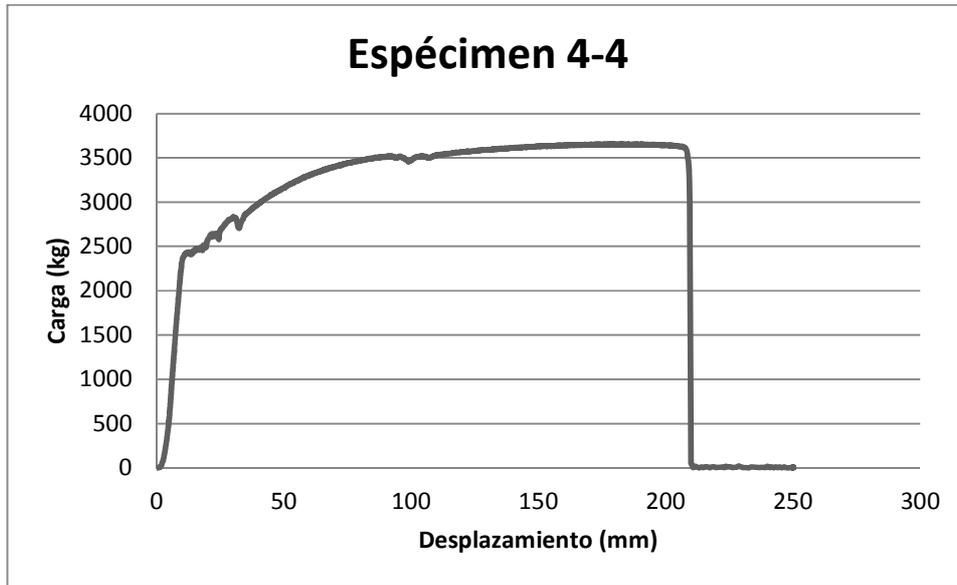


Figura 115. Curva carga-desplazamiento, espécimen 4-4 (gancho 180° 2 varillas #3).

La falla de este espécimen finalizó con la ruptura de la varilla, en las siguientes imágenes se muestra en proceso de falla durante la prueba.



Figura 116. Especimen 4-4 durante el proceso de falla.



Figura 117. Espécimen 4-4 durante el proceso de falla.

Finalmente el espécimen 4-5 alcanzó una carga máxima de 3684 Kg, es decir que superó en un 85.6% la carga teórica de cedencia de la varilla; el comportamiento de la varilla durante la prueba se muestra a continuación en la siguiente figura.

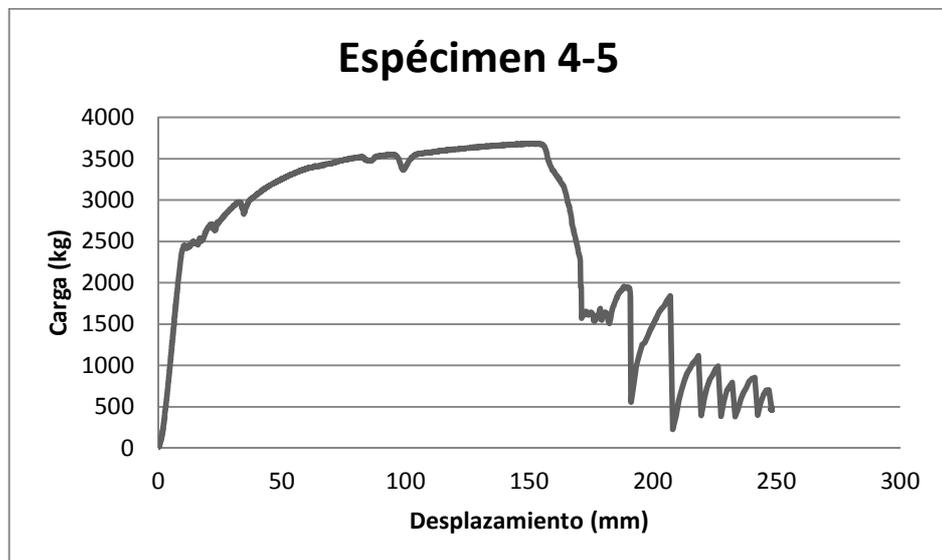


Figura 118. Curva carga-desplazamiento, espécimen 4-5 (gancho 180° 2 varillas #3).

Durante la falla de este espécimen el gancho estándar de 180° cedió, quebró la mampostería y se deslizó la varilla.



Figura 119. Espécimen 4-5 durante el proceso de falla.



Figura 120. Espécimen 4-5 al finalizar el proceso de falla.

6.5 Pared con traslape utilizando gancho estándar 180° (varilla en la sisa).

En el caso de estos especímenes la varilla que se estudió fue la que era extraída por el gato hidráulico, pues la otra se encontraba empotrada a uno de los muros del piso fuerte.

El espécimen 5-1 alcanzó una carga máxima de 3641 kg, con lo cual se logra superar en un 83.4% la carga teórica de cedencia de la varilla; según se puede observar en la siguiente figura.

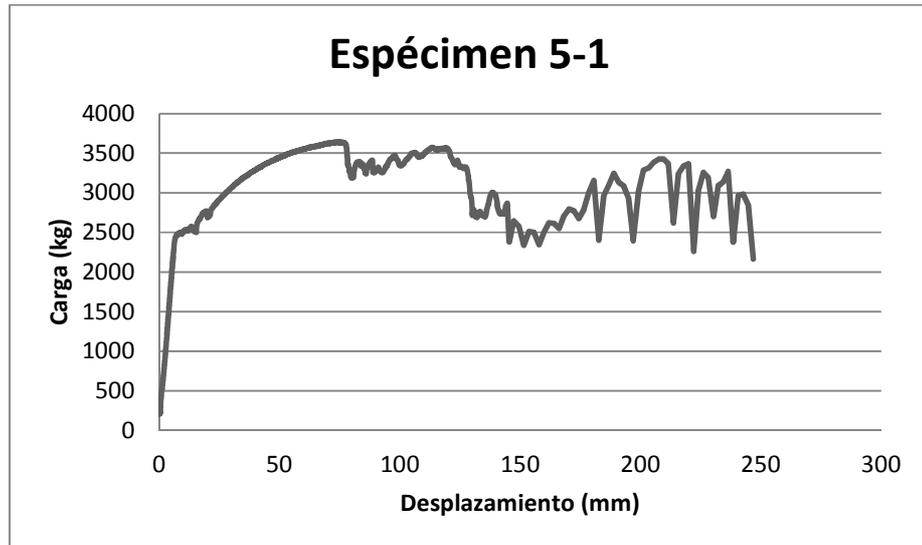


Figura 121. Curva carga-desplazamiento, espécimen 5-1 (traslazo con gancho estándar de 180° y colocado en sisa).

La falla de este espécimen terminó al ceder el gancho estándar de 180° y finalmente deslizarse la varilla.



Figura 122. Especimen 5-1 durante la prueba.



Figura 123. Resultado de la falla espécimen 5-1, gancho estándar de 180° deformado.

El espécimen 5-2 logró alcanzar una carga máxima de 3704 kg, lo que quiere decir que superó en un 86.6% la carga teórica de cedencia de la varilla. En la siguiente figura se detalla el comportamiento de la varilla.

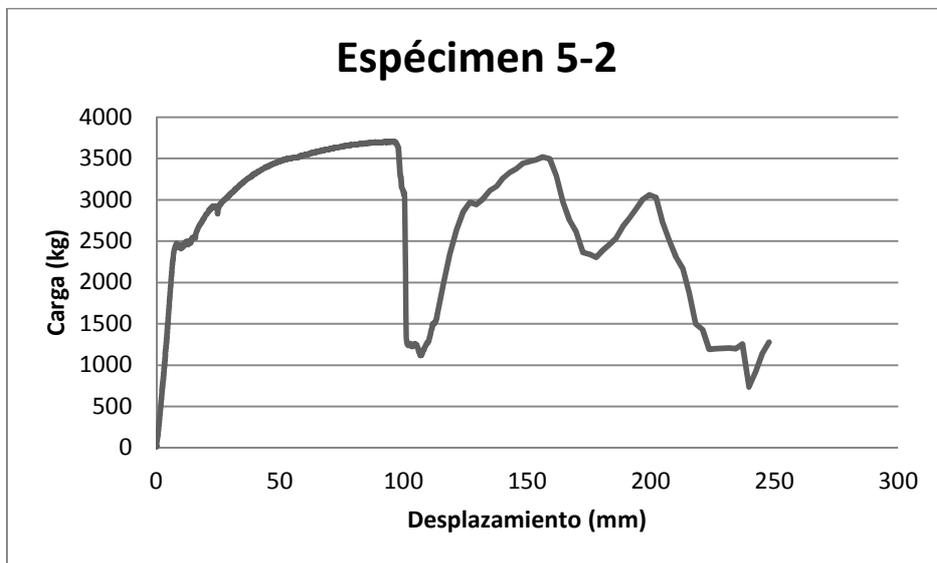


Figura 124. Curva carga-desplazamiento, espécimen 5-2 (traslapo con gancho estándar de 180°y colocado en sisa).

Al igual que en el caso anterior, el gancho estándar de 180° cedió y se deformó.



Figura 125. Espécimen 5-2, durante el proceso de falla.



Figura 126. Espécimen 5-2, durante el proceso de falla.



Figura 127. Resultado de la falla espécimen 5-2, gancho estándar de 180° deformado.

El espécimen 5-3 obtuvo una carga máxima de 3336 kg, es decir, que sobrepaso en un 68% la carga teórica de cedencia de la varilla. En la siguiente figura se observa el comportamiento de la varilla durante la prueba.

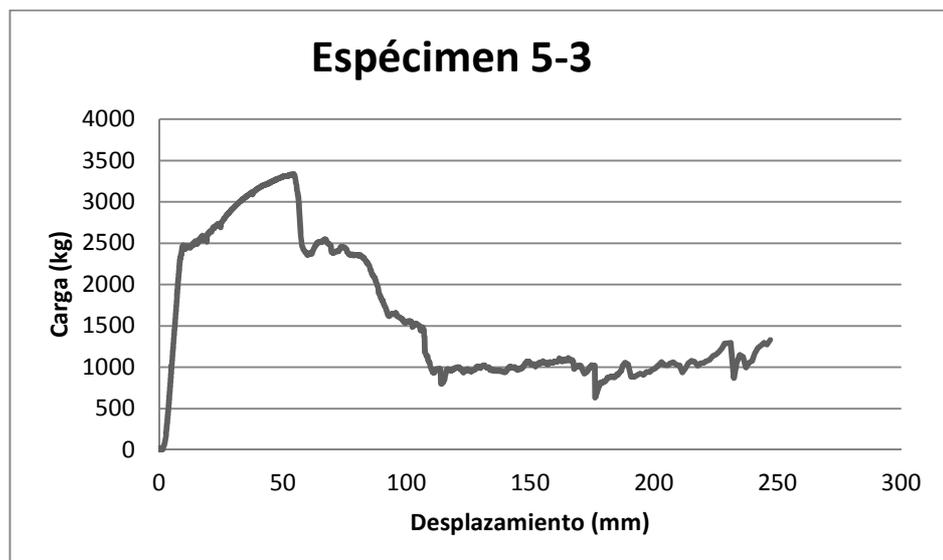


Figura 128. Curva carga-desplazamiento, espécimen 5-3 (traslapeo con gancho estándar de 180°y colocado en sisa).

Durante la falla de este espécimen el gancho estándar de 180° empezó a ceder hasta tal punto de deformar la varilla vertical.



Figura 129. Espécimen 5-3 durante la prueba.



Figura 130. Espécimen 5-3 durante la prueba.

El espécimen 5-4 obtuvo una carga máxima de 3608 kg, es decir, superó en un 81.8% la carga teórica de cedencia de la varilla. En la siguiente figura se observa el comportamiento de la varilla durante la prueba.

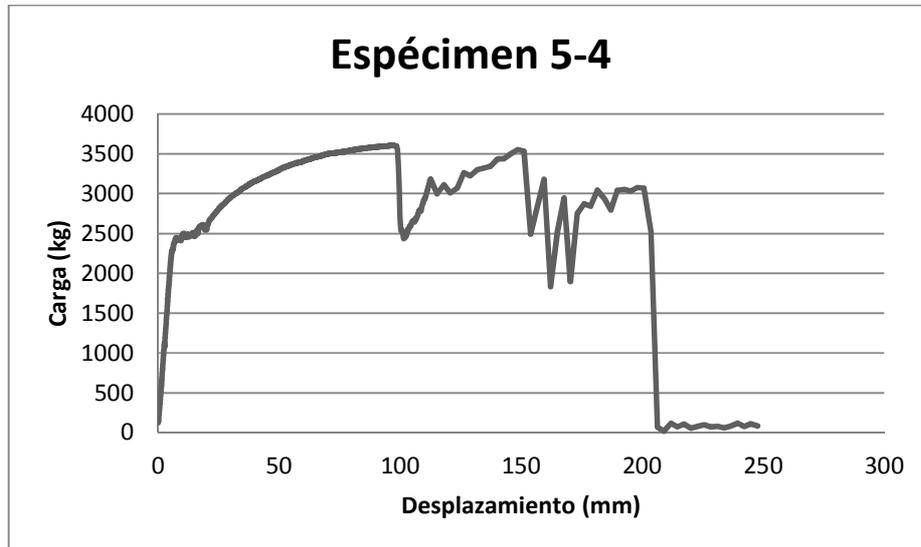


Figura 131. Curva carga-desplazamiento, espécimen 5-4 (traslazo con gancho estándar de 180° y colocado en sisa).

En el caso de este espécimen la falla terminó con la ruptura interna de la varilla, es decir, la varilla se rompió en un punto que se encontraba rodeada de mortero de pega.



Figura 132. Especimen 5-4 durante el proceso de falla.



Figura 133. Resultado de la falla espécimen 5-4, ruptura de la varilla.

Por último el espécimen 5-5 alcanzó una carga máxima de 3834 kg, lo que quiere decir que logró superar en un 93.2% la carga teórica de cedencia de la varilla. En la siguiente figura se observa el comportamiento de la varilla durante la prueba.

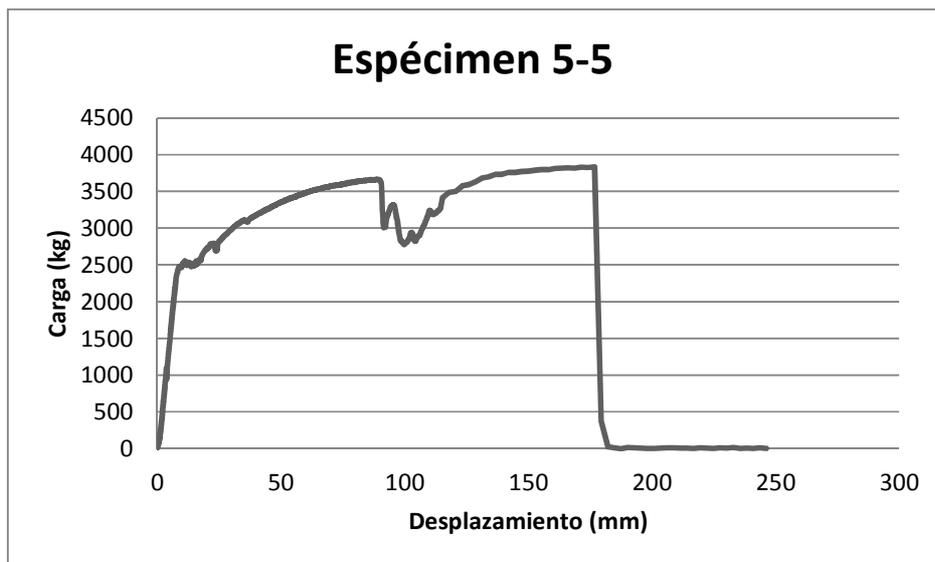


Figura 134. Curva carga-desplazamiento, espécimen 5-5 (traslapo con gancho estándar de 180° y colocado en sisa).

En este caso la falla terminó debido a que la soldadura que se utilizó para unir la placa a la varilla falló, sin embargo la varilla ya había logrado llegar a la cedencia, según se mostró en la figura anterior.



Figura 135. Espécimen 5-5 durante el proceso de falla.

6.6 Pared con varillas horizontales traslapadas sin gancho y embebidas en concreto.

El espécimen 6-1 alcanzó una carga máxima de 3688 kg, es decir que superó en un 85.8% la carga teórica de cedencia de la varilla. A continuación se muestra el comportamiento de la varilla durante la prueba.

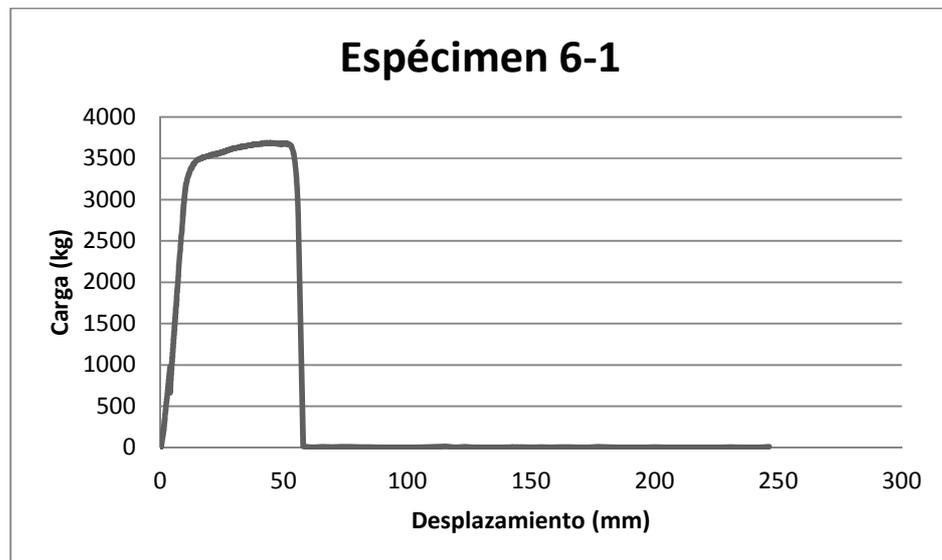


Figura 136. Curva carga-desplazamiento, espécimen 6-1 (traslapo sin gancho en viga bloque).



Figura 137. Espécimen 6-1 durante el proceso de carga.

En este caso la falla culminó con la ruptura de la varilla, como se puede observar en la siguiente figura.



Figura 138. Resultado de la falla espécimen 6-1, ruptura de la varilla.

El espécimen 6-2 logró alcanzar una carga máxima de 3948 kg; superó en un 98.9% la carga teórica de cedencia, es decir, se dio la ruptura de la varilla al obtener casi el doble de la carga de cedencia de la varilla.

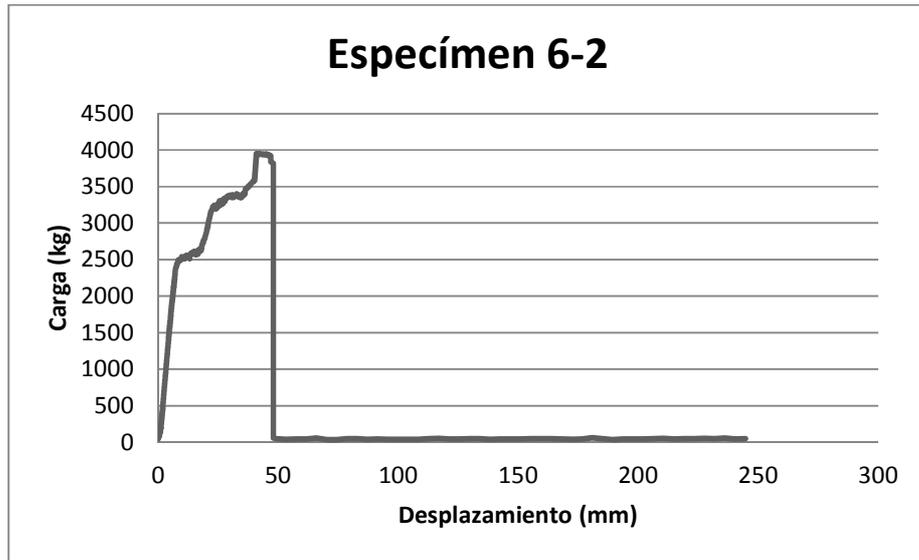


Figura 139. Curva carga-desplazamiento, espécimen 6-2 (traslapo sin gancho en viga bloque).



Figura 140. Especímen 6-2 durante el proceso de falla.

El espécimen 6-3 obtuvo una carga máxima de 3680 kg, en la siguiente figura se muestra.

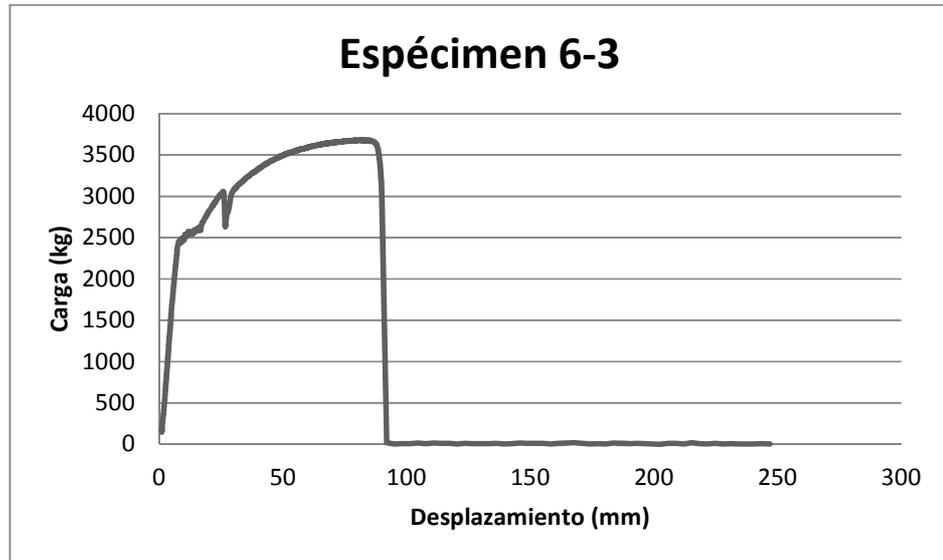


Figura 141. Curva carga-desplazamiento, espécimen 6-3 (traslapo sin gancho en viga bloque).

Con respecto a la carga teórica de cedencia se superó en un 85.4%. La falla terminó con la ruptura de la varilla.



Figura 142. Especimen 6-3 durante la prueba.



Figura 143. Resultado de la falla espécimen 6-3, ruptura de la varilla.

El espécimen 6-4 alcanzó una carga máxima de 3686 kg, según se muestra en la siguiente figura.

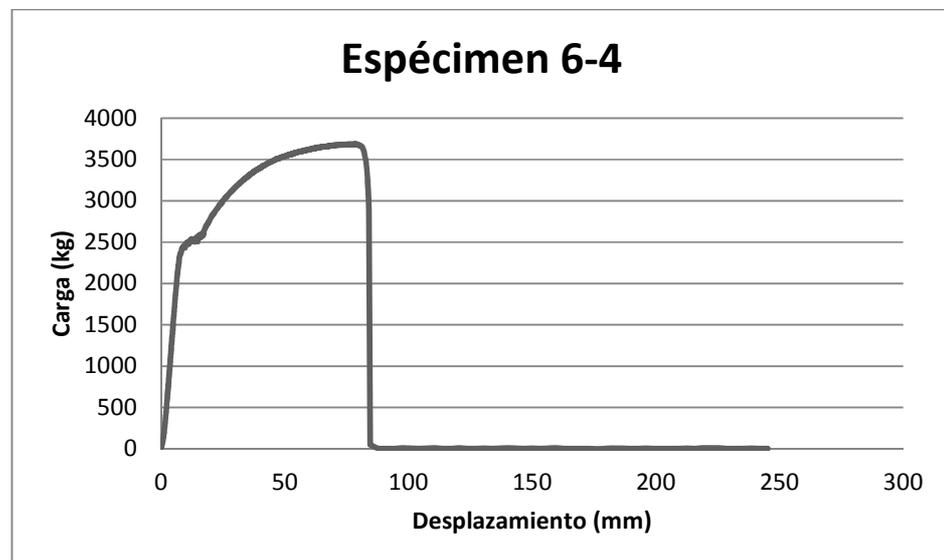


Figura 144. Curva carga-desplazamiento, espécimen 6-4 (traslapo sin gancho en viga bloque).

La carga teórica de cedencia de la varilla se superó en un 85.7%. La falla terminó al darse la ruptura de la varilla.



Figura 145. Espécimen 6-4 durante el proceso de falla.



Figura 146. Resultado de la falla espécimen 6-4, ruptura de la varilla.

Finalmente el espécimen 6-5 logró obtener una carga máxima de 3629 kg según se observa en la siguiente figura.

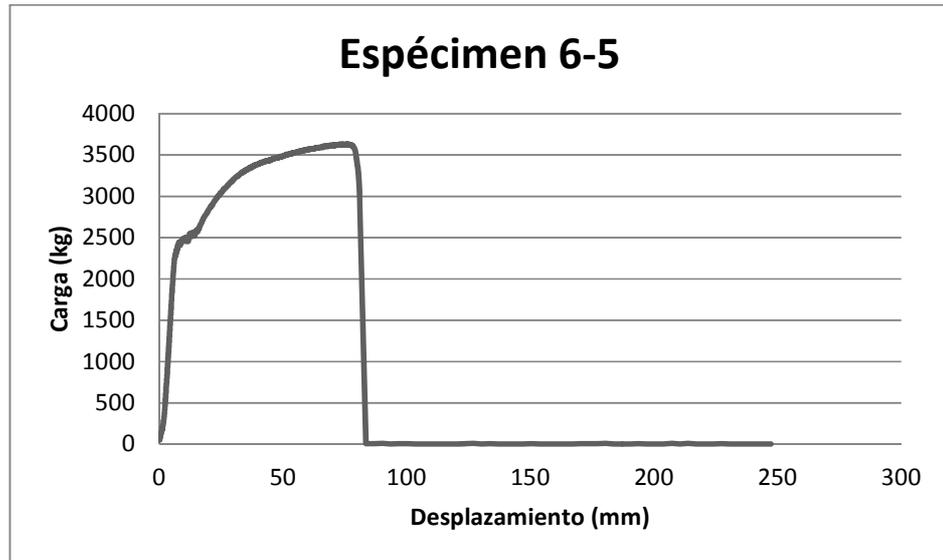


Figura 147. Curva carga-desplazamiento, espécimen 6-5 (traslape sin gancho en viga bloque).



Figura 148. Especimen 6-5 durante el proceso de falla.

La carga teórica de cedencia se superó en un 82.8%, la falla terminó con la ruptura de la varilla, lo cual se puede observar en la siguiente figura.



Figura 149. Resultado de la falla espécimen 6-5, ruptura de la varilla.

6.7 Comparación de resultados

A continuación se presentan una serie de cuadros resumen:

La síntesis de los especímenes tipo 1 se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 7. Resumen de resultados, especímenes tipo 1 (gancho 90°, varilla #4 vertical).

Especímen	Carga máxima (kg)	Porcentaje sobre la carga de cedencia (%)
1-1	2523	27.1
1-2	2573	29.6
1-3	2558	28.8
1-4	2503	26.1
1-5	3125	57.4
Promedio	2656	33.8

De acuerdo con el cuadro anterior la carga máxima promedio de los especímenes tipo 1 fue de 2656 kg, lo que significa un 33.8% sobre la carga teórica de cedencia de la varilla. En la siguiente figura se muestra el resumen de las curvas.

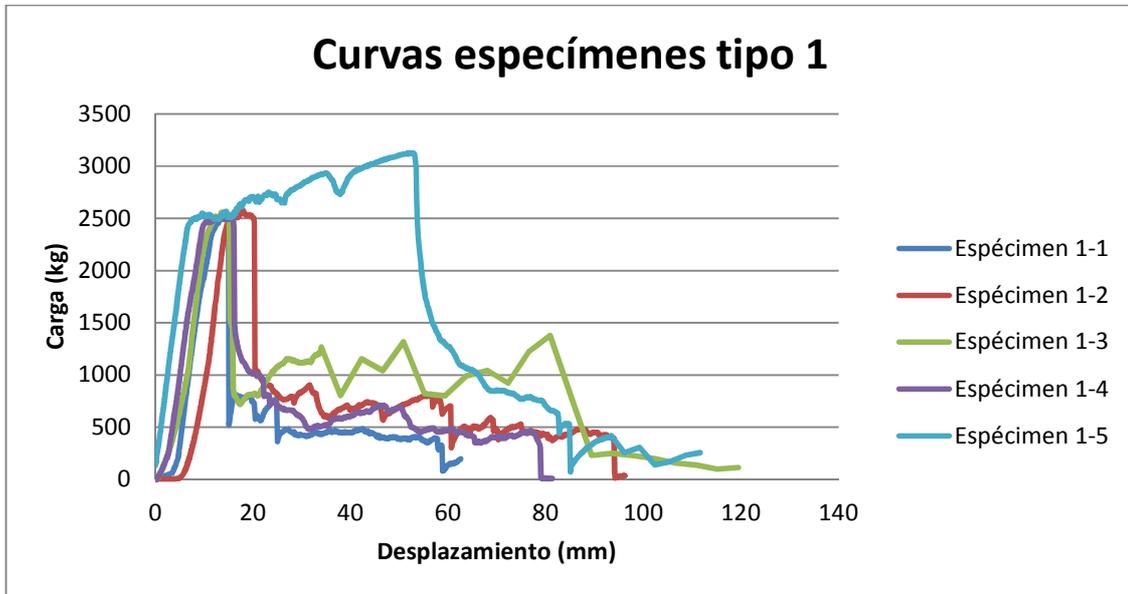


Figura 150. Resumen de curvas, especímenes tipo 1 (varilla #4 vertical, gancho estándar de 90°).

En el caso de los especímenes tipo 2, se detalla en el cuadro 8.

Cuadro 8. Resumen de resultados, especímenes tipo 2 (gancho 90°, varilla 2#3 vertical).

Especímen	Carga máxima (kg)	Porcentaje sobre la carga de cedencia (%)
2-1	3732	88.0
2-2	3737	88.3
2-3	3655	84.1
2-4	3595	81.1
2-5	3310	66.7
Promedio	3606	81.7

El promedio de la carga máxima de los especímenes tipo 2 fue de 3606 kg, lo que significa un 81.7% mayor a la carga teórica de cedencia de la varilla. La siguiente figura detalla el resumen de las curvas.

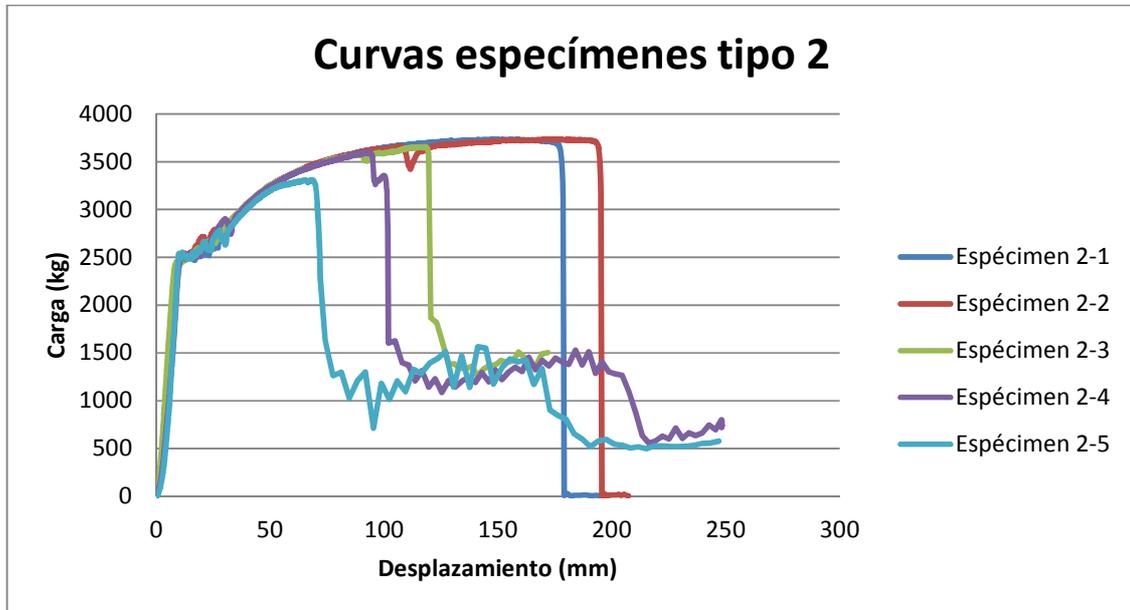


Figura 151. Resumen de curvas, especímenes tipo 2 (dos varillas #3 verticales, gancho estándar de 90°).

Los especímenes tipo 3 se resumen en el cuadro 9.

Cuadro 9. Resumen de resultados, especímenes tipo 3 (gancho 180°, varilla #4 vertical).

Especímen	Carga máxima (kg)	Porcentaje sobre la carga de cedencia (%)
3-1	3680	85.4
3-2	2696	35.8
3-3	2932	47.7
3-4	2896	45.9
3-5	3553	79.0
Promedio	3151	58.8

El promedio de la carga máxima de los especímenes tipo 3 fue de 3151 kg, es decir, superó en un 58.8% la carga teórica de cedencia de la varilla. El resumen de las curvas se muestra a continuación.

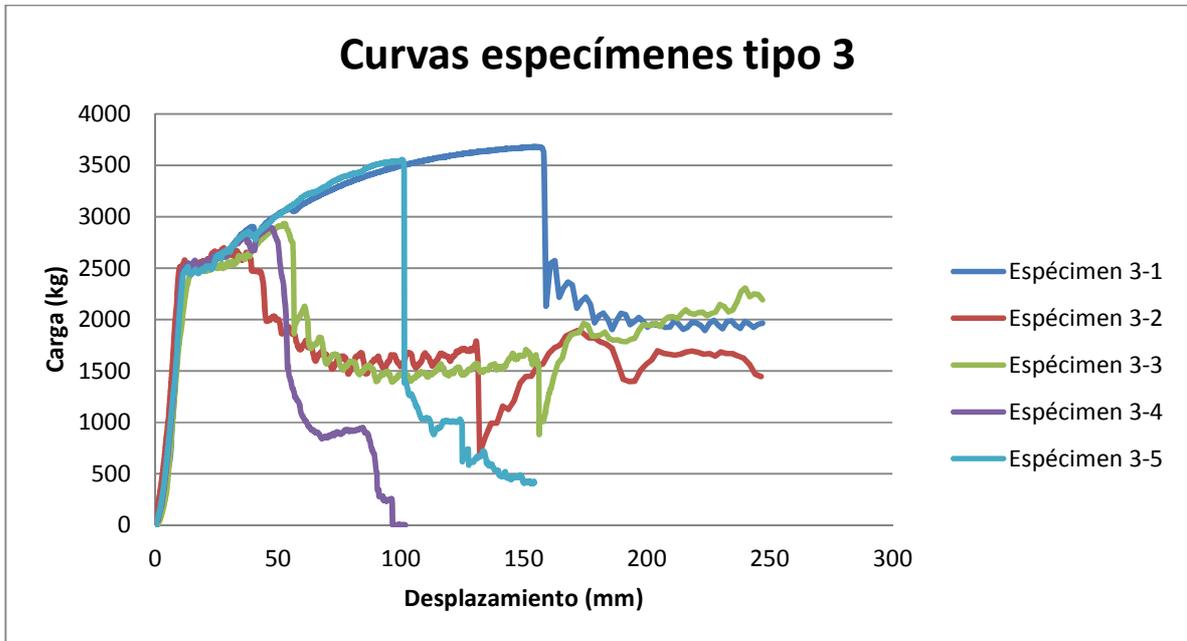


Figura 152. Resumen de curvas, especímenes tipo 3 (varilla #4 vertical, gancho estándar de 180°).

Los especímenes tipo 4 se resumen en el cuadro 10.

Cuadro 10. Resumen de resultados, especímenes tipo 4 (gancho 180°, varilla 2#3 vertical).

Especímen	Carga máxima (kg)	Porcentaje sobre la carga de cedencia (%)
4-1	3622	82.5
4-2	3621	82.4
4-3	3735	88.2
4-4	3657	84.2
4-5	3684	85.6
Promedio	3664	84.6

El promedio de la carga máxima de los especímenes tipo 4 fue de 3664 kg, lo cual es un 84.6% por arriba de la carga teórica de cedencia de la varilla. En la siguiente figura se muestra el resumen de las curvas.

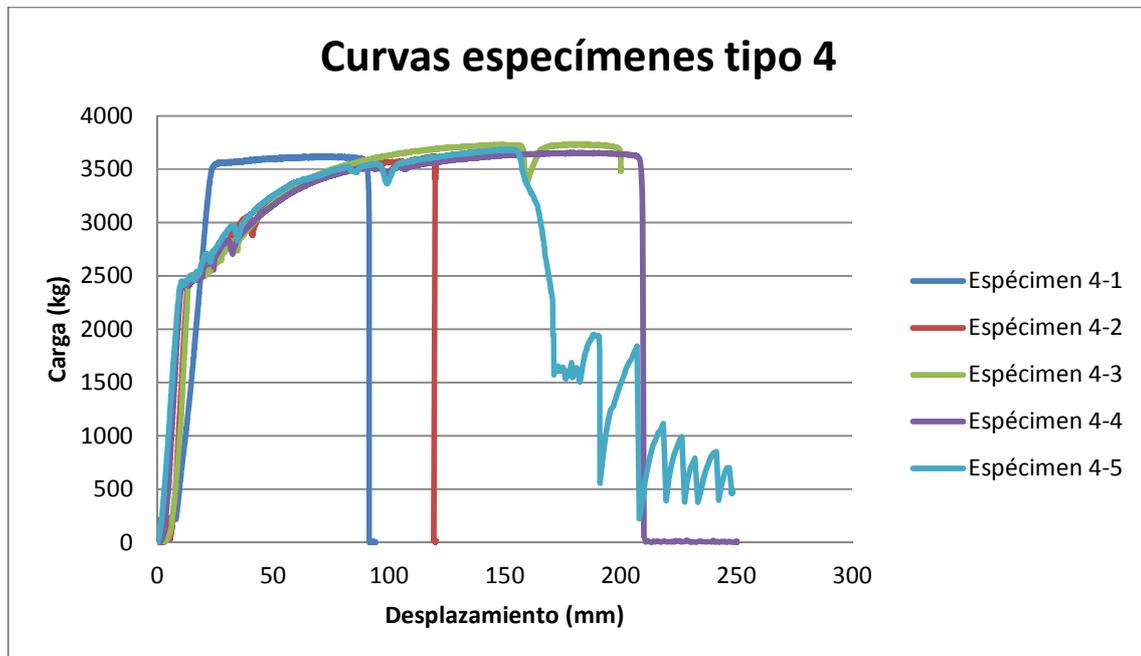


Figura 153. Resumen de curvas, especímenes tipo 4 (dos varillas #3 verticales, gancho estándar de 180°).

El resumen de los especímenes tipo 5 se presentan a continuación en el cuadro 11.

Cuadro 11. Resumen de resultados, especímenes tipo 5 (traslapo con gancho 180° colocado en la sisa).

Especímen	Carga máxima (kg)	Porcentaje sobre la carga de cedencia (%)
5-1	3641	83.4
5-2	3704	86.6
5-3	3336	68.0
5-4	3608	81.8
5-5	3834	93.2
Promedio	3625	82.6

El promedio de la carga máxima de los especímenes tipo 5 fue de 3625 kg, es decir, que superó en un 82.6% la carga teórica de cedencia de la varilla. A continuación se muestra el detalle de las curvas.

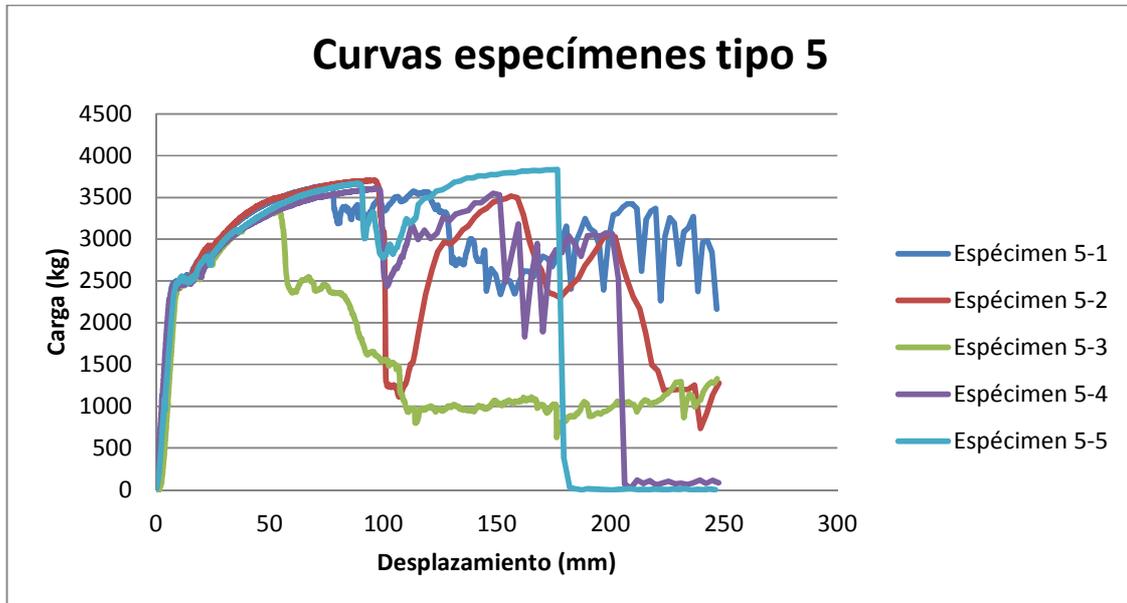


Figura 154. Resumen de curvas, especímenes tipo 5 (traslape con gancho y colocado en la sisa).

Los especímenes tipo 6, se resumen a continuación, en el cuadro 12.

Cuadro 12. Resumen de resultados, especímenes tipo 6 (traslape sin gancho colocado en viga bloque).

Especímen	Carga máxima (kg)	Porcentaje sobre la carga de cedencia (%)
6-1	3688	85.8
6-2	3948	98.9
6-3	3680	85.4
6-4	3686	85.7
6-5	3628	82.8
Promedio	3726	87.7

El promedio de la carga máxima de los especímenes tipo 6 fue de 3726 kg, lo cual corresponde con un 87.7% superior a la carga teórica de cedencia de la varilla. En la siguiente figura se observan las curvas correspondientes.

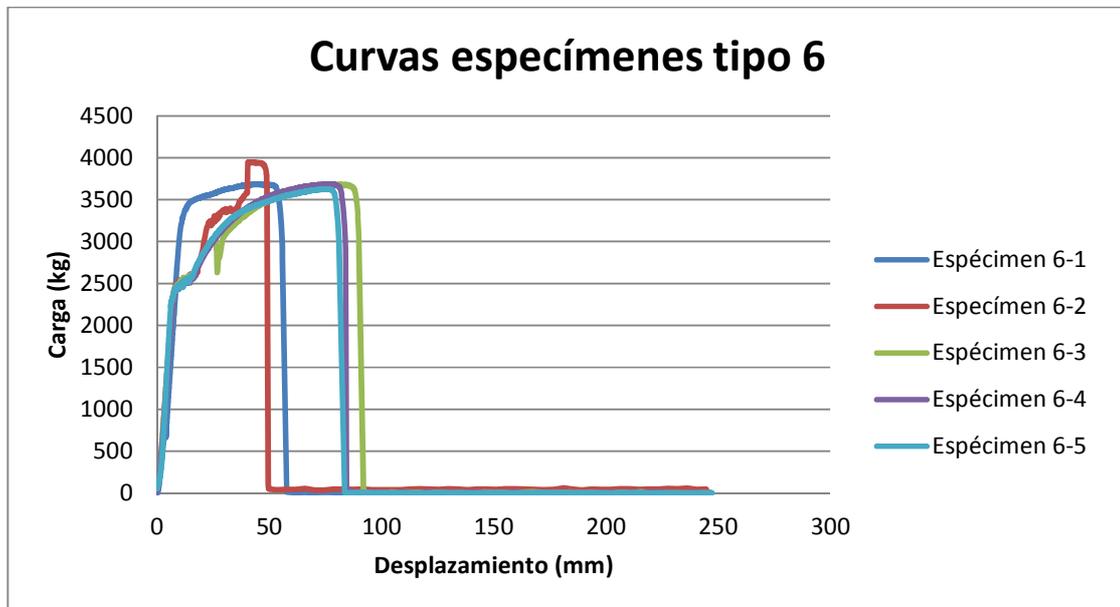


Figura 155. Resumen de curvas, especímenes tipo 6 (traslapo con viga bloque).

El cuadro 13, resume las cargas máximas de cada uno de los especímenes que se fallaron para estudiar el comportamiento de los anclajes, además muestra la manera en que culminó la falla de cada uno de ellos; con el fin de visualizar de una mejor manera los resultados obtenidos y lograr comparar.

Cuadro 13. Resumen de los resultados de los especímenes, anclajes.

Especímen	Carga máxima (kg)	Tipo de falla
1-1	2523	Deformación del gancho estándar de 90° y deslizamiento de la varilla
1-2	2573	Deformación del gancho estándar de 90° y deslizamiento de la varilla
1-3	2558	Deformación del gancho estándar de 90° y deslizamiento de la varilla
1-4	2503	Deformación del gancho estándar de 90° y deslizamiento de la varilla
1-5	3125	Deformación del gancho estándar de 90° y deslizamiento de la varilla
Promedio	2656	Tipo 1: gancho 90°, varilla #4 vertical.
2-1	3732	Ruptura de la varilla
2-2	3737	Ruptura de la varilla
2-3	3655	Deformación del gancho estándar de 90° y deslizamiento de la varilla
2-4	3595	Deformación del gancho estándar de 90° y deslizamiento de la varilla
2-5	3310	Deformación del gancho estándar de 90° y deslizamiento de la varilla
Promedio	3606	Tipo 2: gancho 90°, varilla 2#3 vertical.
3-1	3680	Deformación del gancho estándar de 180° y deslizamiento de la varilla
3-2	2696	Deformación del gancho estándar de 180° y deslizamiento de la varilla
3-3	2932	Deformación del gancho estándar de 180° y deslizamiento de la varilla
3-4	2896	Deformación del gancho estándar de 180° hasta salirse de los bloques
3-5	3553	Deformación del gancho estándar de 180° y deslizamiento de la varilla
Promedio	3151	Tipo 3: gancho 180°, varilla #4 vertical.
4-1	3622	Ruptura de la varilla
4-2	3621	Ruptura de la varilla
4-3	3735	Ruptura de la varilla
4-4	3657	Ruptura de la varilla
4-5	3684	Deformación del gancho estándar de 180° y deslizamiento de la varilla
Promedio	3664	Tipo 4: gancho 180°, varilla 2#3 vertical.

Según se observa en el cuadro anterior, cuando existe una única celda rellena (especímenes 1 y 3), los ganchos de los anclajes, ya sea de 90° o de 180°, tienden a deformarse y por ende se da el deslizamiento de la varilla.

Cuando se tienen dos celdas rellenas, los especímenes tienden a fallar por ruptura de la varilla; sin embargo, también se presentaron fallas por deformación y deslizamiento de la varilla. En este caso los especímenes con gancho estándar de 180° (tipo 4) tuvieron una mayor tendencia a fallar por ruptura de la varilla que los tipo 2 (especímenes con gancho estándar de 90°).

Por otro lado, el cuadro 14, resume las cargas máximas de cada uno de los especímenes que se fallaron para estudiar el comportamiento de los traslajos, también muestra la manera en que culminó la falla de cada uno de ellos; con el fin de visualizar de una mejor manera los resultados obtenidos y lograr comparar.

Cuadro 14. Resumen de los resultados de los especímenes, traslajos.

Espécimen	Carga máxima (kg)	Tipo de falla
5-1	3641	Deformación del gancho estándar de 180° y deslizamiento de la varilla
5-2	3704	Deformación del gancho estándar de 180° y deslizamiento de la varilla
5-3	3336	Deformación del gancho estándar de 180° y deslizamiento de la varilla
5-4	3608	Ruptura de la varilla
5-5	3834	Fallo la soldadura de la placa
Promedio	3625	Tipo 5: traslajo con gancho 180° colocado en la sisa.
6-1	3688	Ruptura de la varilla
6-2	3948	Ruptura de la varilla
6-3	3680	Ruptura de la varilla
6-4	3686	Ruptura de la varilla
6-5	3628	Ruptura de la varilla
Promedio	3726	Tipo 6: traslajo sin gancho colocado en viga bloque.

En este caso los especímenes tipo 6 (con viga bloque y sin gancho), fallaron todos por ruptura de la varilla; los tipo 5, fallaron más que todo por deformación del gancho de 180°.

En el cuadro 15 se resumen las cargas promedio de los especímenes referentes a los anclajes; se observa que entre el 1 y 3 y entre el 2 y 4, la carga promedio de los especímenes con gancho estándar de 180° es superior en ambos casos (una única celda rellena y dos celdas rellenas), sin embargo, algo importante que rescatar es que entre los 2 y 3, es superior la carga promedio de los tipo 2 (dos celdas rellenas con estándar de 90°), con respecto a los tipo 3 (una única celda rellena con gancho estándar de 180°), con lo cual se logra concluir que el tema de las cantidad de celdas rellenas es muy importante.

Cuadro 15. Resumen de cargas para los 4 tipos de anclajes analizados.

Especímenes	Carga promedio (kg)
1 (gancho 90°, varilla #4 vertical)	2656
2 (gancho 90°, varilla 2#3 vertical)	3606
3 (gancho 180°, varilla #4 vertical)	3151
4 (gancho 180°, varilla 2#3 vertical)	3664

El cuadro 16, muestra las cargas promedio de los especímenes 5 y 6, utilizados para estudiar el tema de los traslajos; se observa un mejor comportamiento de los tipo 6 (mayor carga promedio); sin embargo no se considera significativo.

Cuadro 16. Resumen de cargas para los dos tipos de traslajos analizados.

Especímenes	Carga promedio (kg)
5 (traslajo con gancho 180° colocado en la sisa)	3625
6 (traslajo sin gancho colocado en viga bloque)	3726

Con respecto a las comparaciones entre los especímenes se obtuvieron los siguientes resultados:

Las primeras dos comparaciones que se realizaron fueron con el fin de estudiar las diferencias entre utilizar un gancho estándar de 90° y uno de 180°.

Los especímenes 1 y 3 tenían una celda rellena con una varilla #4; el gancho estándar del tipo 1 era de 90° y el del tipo 3 de 180°, en este caso, el promedio de la carga de los especímenes tipo 1 fue de 2656 kg y la del tipo 3 fue de 3151 kg, es decir, que el hecho de

utilizar un gancho estándar de 180° aumento la carga un promedio de 495 kg (15.7%) y además se logra superar la carga de cedencia teórica de la varilla en un 24.9% más que al utilizar el gancho estándar de 90°. En el cuadro 17 se muestra un resumen de la información.

Cuadro 17. Comparación especímenes con una celda rellena (varilla #4), gancho estándar de varilla horizontal distinto.

Tipo de espécimen	Carga (kg)	Porcentaje sobre la carga de cedencia (%)
1 (varilla vertical #4, gancho estándar de 90°)	2656	33.8
3 (varilla vertical #4, gancho estándar de 180°)	3151	58.8
Diferencia	495	24.9

Los especímenes 2 y 4 tenían dos celdas rellenas con una varilla vertical #3 en cada una; el gancho estándar del tipo 2 era de 90° y el del tipo 4 de 180°, en este caso el promedio de la carga de los especímenes tipo 2 fue de 3606 kg y la del tipo 4 fue de 3664 kg, es decir que el hecho de utilizar un gancho estándar de 180° aumentó la carga en un promedio de 58 kg (1.5%) y además se logra superar la carga de cedencia teórica de la varilla en un 2.9% más que al utilizar el gancho estándar de 90°, según estos resultados se observa que la diferencia no es significativa. En el siguiente cuadro se muestra un resumen de la información.

Cuadro 18. Comparación especímenes con dos celdas rellenas (varilla 2#3), gancho estándar de varilla horizontal distinto.

Tipo de espécimen	Carga (kg)	Porcentaje sobre la carga de cedencia (%)
2 (varilla vertical 2#3, gancho estándar de 90°)	3606	81.7
4 (varilla vertical 2#3, gancho estándar de 180°)	3664	84.6
Diferencia	58	2.9

Los especímenes tipo 1 tenían una celda rellena con una varilla vertical #4 y los tipo 2 poseían dos celdas rellenas con una varilla vertical #3 en cada celda; en ambos casos el gancho estándar era de 90°. El promedio de la carga de los especímenes tipo 1 fue de 2656 kg y los del tipo 2 fue de 3606 kg, es decir que el hecho de aumentar la cantidad de celdas

rellenas aumentó la carga en 950 kg (26.4%) y además se logra superar en un 47.8% la carga teórica de cedencia de la varilla con respecto a los tipo 1. En el siguiente cuadro se muestra un resumen de la información.

Cuadro 19. Comparación especímenes con distintas celdas rellenas, gancho estándar de 90° en varilla horizontal.

Tipo de espécimen	Carga (kg)	Porcentaje sobre la carga de cedencia (%)
1 (varilla vertical #4, gancho estándar de 90°)	2656	33.8
2 (varilla vertical 2#3, gancho estándar de 90°)	3606	81.7
Diferencia	950	47.8

Los especímenes tipo 3 tenían una celda rellena con una varilla vertical #4 y los tipo 4 poseían dos celdas rellenas con una varilla vertical #3 en cada celda; en ambos casos el gancho estándar era de 180°. El promedio de la carga de los especímenes tipo 3 fue de 3151 kg y los del tipo 4 fue de 3664 kg, es decir, que el hecho de aumentar la cantidad de celdas rellenas aumento la carga en 512 kg (14%) y además se logra superar en un 25.8% la carga teórica de cedencia de la varilla con respecto a los tipo 3. En el cuadro 20 se muestra un resumen de la información.

Cuadro 20. Comparación especímenes con distintas celdas rellenas, gancho estándar de 180° en varilla horizontal.

Tipo de espécimen	Carga (kg)	Porcentaje sobre la carga de cedencia (%)
3 (varilla vertical #4, gancho estándar de 180°)	3151	58.8
4 (varilla vertical 2#3, gancho estándar de 180°)	3664	84.6
Diferencia	512	25.8

Finalmente en el caso de los traslapos, el promedio de la carga de los especímenes tipo 5 (traslapo con gancho estándar de 180° y colocado en sisa) fue de 3625 kg; los tipo 6 (traslapo sin gancho y colocado en viga bloque) alcanzaron un promedio de carga de 3726 kg, es decir que se dio una diferencia de carga de 101 kg, lo que corresponde a un 2.7%.

Utilizar traslapo sin gancho y colocado en viga bloque, aumenta en un 5.1% la carga teórica de cedencia de la varilla, con respecto a los especímenes tipo 6; según estos datos la diferencia entre estos dos tipos de traslapos no se considera significativa.

Es importante tomar en consideración, el hecho de que utilizar viga bloque aumenta el peso de la pared y al ser la carga de sismo proporcional al peso, la carga de sismo aumenta.

Por último, en el caso del traslapo con gancho estándar de 180° y colocado en la sisa, en ocasiones se puede dar que una varilla se monte sobre la otra lo que provoca un aumento en el tamaño de la sisa. Otro punto importante a considerar, en este mismo tipo de traslapo, es que las varillas horizontales no quedan centradas en el bloque, lo cual afecta a la hora que se presente la reversión de esfuerzos de la carga de sismo, pues en el momento que le toque tomar la tensión de un lado de la pared puede que la varilla no esté funcionando.

Cuadro 21. Comparación especímenes con distinto tipo de traslapo.

Tipo de espécimen	Carga (kg)	Porcentaje sobre la carga de cedencia (%)
5 (traslapo con gancho estándar de 180° en sisa)	3625	82.6
6 (traslapo sin gancho en viga bloque)	3726	87.7
Diferencia	101	5.1

La siguiente curva se adjuntó con el fin de comparar el ensayo de tracción de la varilla con los ensayos de los especímenes. Según los datos la carga máxima que soporto la varilla fue de 4756 kg.

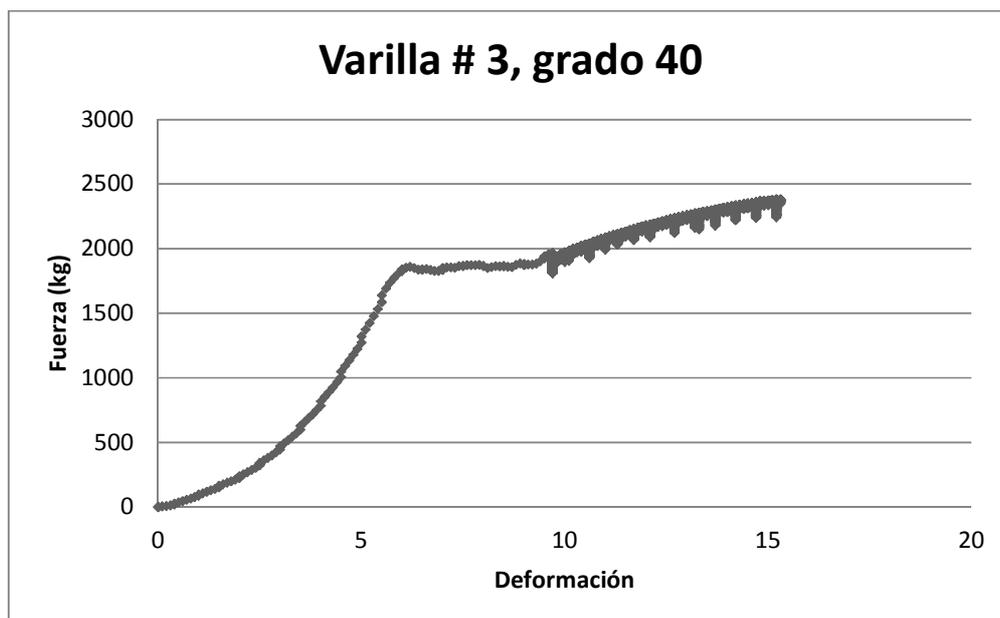


Figura 156. Curva carga-desplazamiento con la misma escala de los especímenes.

Cuadro 22. Comparación de ensayos de especímenes de anclajes con ensayo de tracción simple de la varilla.

Especímen	Carga máxima promedio (kg)	Diferencia de carga con respecto al ensayo de tracción de la varilla (kg)
1 (90° varilla #4)	2656	2100
2 (90° varilla 2#3)	3606	1150
3 (180° varilla #4)	3151	1605
4 (180° varilla 2#3)	3664	1092
Carga máxima de la varilla durante el ensayo de tracción.	4756	

Según los datos del cuadro anterior, el tipo de anclaje que presenta un mejor comportamiento es el de los especímenes tipo 4; varilla horizontal anclada con gancho estándar de 180° y con dos celdas rellenas para las varillas verticales #3, pues presenta una menor diferencia de carga con respecto al ensayo de tracción de la varilla; sin embargo, los especímenes tipo 2 están a tan sólo 58 kg por arriba de los tipo 4, lo que quiere decir que el hecho de utilizar dos celdas rellenas es un punto importante a tomar en consideración.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Con base en el análisis de los resultados obtenidos y a la investigación realizada, se concluye que:

- Se deben realizar pruebas de resistencia a la compresión de los bloques de mampostería siempre que se vaya a construir, pues en este caso se comprobó que a pesar de solicitar mampostería clase A al depósito de materiales, se suministró mampostería con resistencia de bloques clase B.
- En ambos casos, los especímenes con las mismas condiciones de refuerzo vertical (una celda rellena con varilla vertical #4 y dos celdas rellenas con varilla vertical #3), alcanzaron una carga mayor al utilizar gancho estándar de 180°; sin embargo, al aumentar la cantidad de celdas rellenas la diferencia de carga entre utilizar gancho estándar de 90° y 180° disminuye en un 88.3% (prácticamente desaparece).
- Los especímenes con gancho estándar de 90° en varilla horizontal, pero con distinto refuerzo vertical (una celda rellena con varilla #4 vertical y dos celdas rellenas con varilla vertical #3 en cada celda), dieron como resultado un aumento de carga de 26.4% al pasar de una celda rellena a dos celdas rellenas debido a que en el segundo caso se alcanza una mayor ductilidad y se aprovecha la zona de endurecimiento del acero.
- Los especímenes con gancho estándar de 180° en varilla horizontal, pero con distinto refuerzo vertical (una celda rellena con varilla #4 vertical y dos celdas rellenas con varilla vertical #3 en cada celda), dieron como resultado un aumento de carga de 14% al pasar de un celda rellena a dos celdas rellenas.
- A pesar de presentar diferencias significativas de refuerzo vertical y de gancho estándar en varilla horizontal, entre los primeros cuatro tipos de especímenes; en los 20 casos fallados, lograron superar la carga teórica de cedencia de la varilla, correspondiente al

esfuerzo de cedencia en varilla grado 40 (2800 kg/cm²), por lo que se obtuvieron las resistencias esperadas. En los dos casos de traslapos estudiados también se alcanzó la cedencia.

- Según los resultados, dos celdas rellenas con dos varillas #3, es mejor alternativa que una única celda rellena con una varilla #4, pues promueve un mejor comportamiento estructural, a tal punto que se dio una mayor carga (12.6%) al tener dos celdas rellenas con gancho estándar de 90° que al poseer una única celda rellena con estándar de 180°, es decir la ductilidad también mejora en estos casos.
- A pesar que los especímenes tipo 5 presentaban un gancho estándar de 180° (recomendación teórica), la adherencia de las varillas al concreto, que suministra el hecho de utilizar viga bloque, aún sin tener ningún tipo de gancho (especímenes tipo 6), promovió un desempeño similar en los traslapos, pues se obtuvo una diferencia de carga de tan sólo un 2.7%, (en los 5 casos se alcanzó la ruptura de la varilla).

7.2 Recomendaciones

A continuación se presentan las recomendaciones pertinentes, con miras a futuras investigaciones y de acuerdo con las conclusiones obtenidas:

- Si el refuerzo vertical es una varilla vertical #4 (únicamente una celda rellena), se recomienda, utilizar un anclaje con gancho estándar de 180° en la varilla horizontal.
- En caso contrario, si el refuerzo vertical son 2#3 (dos celdas rellenas), se podría utilizar anclaje con gancho estándar de 90° o 180°, pues la diferencia en este caso es muy pequeña.
- En el caso de los traslapos de las varillas horizontales, la diferencia entre los dos tipos analizados fue poco significativa; sin embargo, teniendo en cuenta la parte económica es más recomendable utilizar varillas ancladas con gancho estándar de 180° y colocados en la sisa.

- Durante el proceso constructivo de los especímenes es de suma importancia la inspección. Las actividades más críticas, de las cuales depende el posterior montaje, tales como diámetro de dobléz y largo de las varillas.
- Antes de comenzar las pruebas es necesario revisar que el montaje esté bien, que los muros y el espécimen que se diseñó (en este caso), estén bien apernados al piso fuerte, para así evitar desplazamientos.
- Se recomienda también continuar con la investigación de este tema, tomando en cuenta un número mayor de variables, como por ejemplo, variando el número de varilla, el grado, la cantidad de celdas rellenas y el tamaño de los especímenes.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for Testing and Materials. *ASTM C1019: Standard test method for sampling and testing grout*. Annual Book of Standards, Vol. 4.01, Philadelphia, PA, 2008.
2. American Society for Testing and Materials. *ASTM C109: Standard test method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars*. Annual Book of Standards, Vol. 4.01, Philadelphia, PA, 2008.
3. American Society for Testing and Materials. *ASTM C127: Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate*. Annual Book of Standards, Vol. 4.01, Philadelphia, PA, 2008.
4. American Society for Testing and Materials. *ASTM C128: Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate*. Annual Book of Standards, Vol. 4.01, Philadelphia, PA, 2008.

5. American Society for Testing and Materials. ASTM C1314: Standard test method for compressive strength of masonry prisms. Annual Book of Standards, Vol. 4.01, Philadelphia, PA, 2008.
6. American Society for Testing and Materials. ASTM C136: Standard test method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Annual Book of Standards, Vol. 4.01, Philadelphia, PA, 2008.
7. American Society for Testing and Materials. ASTM C230: Standard test method for Flow Table for Use Tests Hydraulic Cement. Annual Book of Standards, Vol. 4.01, Philadelphia, PA, 2008.
8. American Society for Testing and Materials. ASTM C29: Standard test method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids Aggregate. Annual Book of Standards, Vol. 4.01, Philadelphia, PA, 2008.
9. American Society for Testing and Materials. ASTM C305: Standard test method for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement and Mortars of Plastic Consistency. Annual Book of Standards, Vol. 4.01, Philadelphia, PA, 2008.
10. American Society for Testing and Materials. ASTM C40: Standard test method for Organic Impurities in Fine Aggregate for Concrete. Annual Book of Standards, Vol. 4.01, Philadelphia, PA, 2008.
11. Carazo, P. (1998). Modelado a escala reducida de paredes de mampostería apilada ($h/l=1$) sometidas a fuerzas laterales en su plano. Proyecto de graduación para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
12. Comisión Permanente de Estudio y Revisión del Código Sísmico de Costa Rica (2010). Código Sísmico de Costa Rica 2010. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

13. Gamboa, S. (1997). Determinación de la resistencia al cortante en paredes de mampostería. Proyecto de graduación para optar por el grado de Magister Scientiae, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
14. Hidalgo, J. (2005). Comportamiento estructural de paredes de mampostería integral a escala reducida fabricadas con viga bloque. Proyecto de graduación para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
15. Meli, R. (1971). Comportamiento sísmico de muros de mampostería. (2^a Ed.). México: Editorial de la Universidad Autónoma de México.
16. Paulay, T. y Priestley, M.J.N. (1992). Seismic desing of reinforced concrete and masonry buildings. Estados Unidos: Wiley Interscience Publication.
17. Poveda, A. (2012). Notas del Curso Diseño de Estructuras de Mampostería. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
18. Quirós, L. (2000). Determinación experimental en modelos a escala reducida, de la eficiencia de anclaje de los refuerzos horizontales de vigas, en la unión con las columnas. Proyecto de graduación para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
19. Sáenz, A (2009). Comportamiento Estructural de muros de mampostería confinada en escala reducida con ductilidad local óptima. Proyecto de graduación para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
20. Sandí, F. (1998). Cargas cíclicas aplicadas en paredes de mampostería (sistema convencional vs sistema viga bloque). Proyecto de graduación para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

