



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**RECOMENDACIONES DE DETALLAMIENTO PARA MUROS
DE ALBAÑILERÍA REFORZADA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

FRANCISCO JAVIER NAHUM VIAL

PROFESOR GUÍA
MAXIMILIANO ASTROZA INOSTROZA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
LEONARDO MASSONE SÁNCHEZ
AUGUSTO HOLMBERG FUENZALIDA

SANTIAGO DE CHILE
OCTUBRE 2012

Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer a todos los que indirectamente me ayudaron a en este proceso con su apoyo y sus "vamos" de aliento para que esta tesis pudiera salir adelante.

Por otro lado, me gustaría agradecer a mi profesor guía Maximiliano Astroza por su incansable seguimiento a mi trabajo y sus grandes aportes a éste.

Por último, agradecer mis amigos mas cercanos, mi familia y en particular a una persona que hizo que esta tesis tomara la forma que ahora tiene y que fue parte fundamental en el desarrollo de ésta, Thania Labarca. Esta tesis es mas nuestra que solo mía.

Gracias a todos.

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: FRANCISCO NAHUM VIAL
PROF. GUÍA: SR. MAXIMILIANO ASTROZA

RECOMENDACIONES DE DETALLAMIENTO PARA MUROS DE ALBAÑILERÍA REFORZADA

En los terremotos ocurridos tanto en Chile como en el resto del mundo, se ha podido comprobar que muchos edificios de albañilería reforzada con diseño sismorresistente han sufrido daños estructurales severos debido al mal detallamiento de los refuerzos y de los paños de albañilería.

Con el propósito de contar con soluciones para el detallamiento de muros de albañilería armada y confinada, se hizo una revisión de las recomendaciones de las normas de diseño y cálculo de edificios de albañilería reforzada, de las soluciones propuestas en manuales de construcción y en fichas técnicas de diferentes países. Además se hizo una recopilación de los daños observados y reportados en los terremotos y cuyo origen se atribuye a un mal detallamiento de los refuerzos y de los paños de albañilería, con ello se pudo identificar los detalles que reiteradamente han sido el origen de los daños sísmicos observados.

De acuerdo con la metodología utilizada, las soluciones propuestas se validan a la luz de la información procesada, debiéndose destacar la falta de antecedentes del tipo experimental, lo que representa un déficit de la investigación en el tema a nivel mundial. Teniendo en cuenta lo anterior se recomienda examinar algunas de las propuestas a través de estudios experimentales con el propósito de identificar sus debilidades y fortaleza, especialmente cuando hay más de una alternativa para resolver un detalle.

Las soluciones propuestas tratan de impedir que se repita un detallamiento que no ha tenido un buen resultado en terremotos de gran magnitud. Las dimensiones involucradas se deben determinar con las disposiciones sobre empalme y anclajes recomendadas por las normas de diseño.

Índice general

Índice general	1
Índice de figuras	5
Índice de tablas	11
1. Introducción	12
1.1. Motivación	12
1.2. Objetivos	12
1.2.1. Objetivo General	12
1.2.2. Objetivos Específicos	13
1.3. Metodología	13
1.4. Alcances por Capítulo	13
2. Antecedentes sobre el detallamiento de los refuerzos y de los paños de albañilería de un muro de albañilería reforzada	15
2.1. Muros de albañilería armada (A.A.)	17
2.1.1. Empalme y anclaje de las barras de refuerzo vertical y horizontal	18
2.1.2. Diámetro y distribución de las barras de refuerzo	24
2.1.2.1. Refuerzo Horizontal	25
2.1.2.2. Refuerzo Vertical	28
2.1.3. Amarra de las barras de refuerzo vertical	30
2.1.4. Barras de refuerzo en torno de las aberturas de ventanas	30
2.1.5. Vigas de refuerzo a nivel de los pisos	32
2.1.6. Porcentaje de huecos y perforaciones de las unidades de albañilería	33
2.1.7. Barras de refuerzo en el encuentro de muros	34
2.2. Muros de Albañilería Confinada	36
2.2.1. Unión entre el paño de albañilería y los elementos de confinamiento	36
2.2.2. Refuerzo de aberturas de ventanas y de perforaciones del muro	40
2.2.3. Refuerzo de aberturas de puertas	41
2.2.4. Dimensión de los elementos de confinamiento	42

2.2.5.	Refuerzo en la zona del nudo pilar-cadena	43
2.2.6.	Anclaje de las barras longitudinales en el encuentro de los muros en L	44
2.2.7.	Anclaje de las barras longitudinales en el encuentro de los muros en T	46
2.2.8.	Anclaje de las barras de refuerzo longitudinal de los pilares de confinamiento en la fundación	48
2.2.9.	Anclaje de las barras de refuerzo longitudinal en un tímpano	49
2.2.10.	Separación de los estribos de refuerzo en las zonas críticas de los pilares . . .	51
2.2.11.	Separación entre los elementos de confinamiento	53
2.2.12.	Espesor de las juntas horizontal y vertical de mortero	54
2.2.13.	Forma de los ganchos de los estribos	56
2.2.14.	Refuerzo con barras horizontales en los paños de albañilería	57
2.2.15.	Recrecido de la unión pilar-cadena en los vértices de los paños de albañilería	58
3.	Daños sísmicos debido a un mal detallamiento de los refuerzos de los muros de albañilería estructural	60
3.1.	Efecto del detallamiento de los refuerzos en el daño observado en los muros	61
3.2.	Daños por detallamiento en muros de albañilería armada	63
3.2.1.	Empalme y anclaje de las barras de acero de refuerzo vertical y horizontal . .	63
3.2.2.	Diámetro de las barras que se ubican en el interior de los huecos y en las juntas horizontales de mortero	64
3.2.3.	Pandeo de las armaduras verticales ubicadas en las cabezas comprimidas de los muros	65
3.2.4.	Distribución de las barras de refuerzo en el interior del paño	67
3.2.5.	Refuerzo de aberturas de ventanas y de perforaciones del muro	68
3.2.6.	Espesor de las juntas horizontal y vertical de mortero	69
3.2.7.	Refuerzo en el encuentro de muros	69
3.3.	Daños por detallamiento en muros de albañilería confinada	71
3.3.1.	Unión entre el paño de albañilería y los elementos de confinamiento	72
3.3.2.	Refuerzo de las aberturas de ventanas y de las perforaciones del muro	73
3.3.3.	Refuerzo de los bordes libres de las aberturas de puertas	74
3.3.4.	Dimensión de los elementos de confinamiento	74
3.3.5.	Refuerzo del nudo en el encuentro de los elementos de confinamiento	75
3.3.6.	Empalme y anclaje de la armadura de refuerzo longitudinal de los elementos de confinamiento	78
3.3.7.	Separación de los estribos de refuerzo en las zonas críticas de los pilares . . .	79
3.3.8.	Separación entre los elementos de confinamiento	81
3.3.9.	Espesor de las juntas horizontal y vertical de mortero	81
3.3.10.	Forma de los ganchos de los estribos	81

4. Selección de detalles típicos	82
4.1. Albañilería armada	84
4.1.1. Distribución de las barras de refuerzo vertical y escalerillas en el paño de albañilería	86
4.1.2. Traslape de escalerillas	88
4.1.3. Detalle de anclaje y empalme de las barras de refuerzo vertical (tensores)	90
4.1.4. Refuerzo de aberturas	93
4.1.5. Anclaje de la escalerilla en el borde libre de un muro	94
4.1.6. Refuerzo en encuentro de muros	96
4.1.6.1. Encuentro de muros en T	97
4.1.6.2. Encuentro de muros en L	100
4.1.6.3. Encuentro de muros en Cruz	102
4.1.7. Refuerzos de encuentro cadenas	103
4.1.7.1. Encuentro de muros en T	104
4.1.7.2. Encuentro de muros en L	105
4.1.7.3. Encuentro de muros en Cruz	106
4.2. Albañilería Confinada	107
4.2.1. Union entre paño de albañilería y el pilar de confinamiento	109
4.2.2. Dimensiones mínimas de los pilares de confinamiento	112
4.2.3. Dimensiones y refuerzos de un pilar de borde libre de un muro	116
4.2.4. Dimensiones mínimas de las cadenas de confinamiento	118
4.2.5. Separación de los estribos de refuerzo en las zonas críticas de los pilares	118
4.2.6. Refuerzo de aberturas	120
4.2.6.1. Refuerzo en puertas	120
4.2.6.2. Refuerzo de aberturas de ventanas	121
4.2.7. Refuerzo longitudinal en el encuentro de pilares y cadenas de confinamiento	122
4.2.7.1. Encuentro de muros en T	123
4.2.7.2. Encuentro de muros en L	125
4.2.7.3. Encuentro de muros en Cruz	127
4.2.7.4. Anclaje de las barras longitudinales de los pilares en los encuentros de cadenas	129
4.2.8. Empalme de las barras longitudinales de los pilares o cadenas de confinamiento	130
4.2.9. Refuerzo del nudo de encuentro de cadenas y pilares	131
4.3. Detalles alternativos	132
4.3.1. Albañilería de bloques de hormigón	133
4.3.1.1. Encuentro de muros en T	133
4.3.1.2. Encuentro de muros en L	134
4.3.2. Refuerzos en tímpanos de albañilería confinada	134

4.3.3. Refuerzos horizontales (escalerillas) en el interior del paño de albañilería confinada	135
4.3.4. Detallamiento del refuerzo horizontal del paño de albañilería en el encuentro de muros	136
4.3.4.1. Encuentro de muros en T	137
4.3.4.2. Encuentro de muros en L	138
4.3.4.3. Encuentro de muros en Cruz	138
5. Comentarios y Conclusiones	140
Bibliografía	142
Anexos	145
A. Largos de anclaje y desarrollo según normas de diseño de albañilería y hormigón	146

Índice de figuras

2.1. Albañilería confinada bien diseñada y construida (Hausler, 2008)	16
2.2. Albañilería confinada mal diseñada y construida (Hausler, 2008)	16
2.3. Ganchos estándar (NCMA, 2007)	18
2.4. Empalme por traslape de escalerillas electrosoldadas. Largo de traslape para efectos de la contracción por secado de la albañilería (NCMA, 2005)	20
2.5. Empalme por traslape de las barras de refuerzo vertical de un muro de A.A (Bravo, 2007)	21
2.6. Anclaje del extremo superior de una barra de refuerzo vertical (Bravo, 2007)	21
2.7. Empalme de armadura vertical en muros de AA (Moas, 1993)	22
2.8. Anclaje de los extremos de las barras de refuerzo horizontal (Lane, 2007)	23
2.9. Anclaje de los extremos de las barras de refuerzo horizontal en L (IMI, 2009)	23
2.10. Anclaje de los extremos de las barras de refuerzo horizontal en T (IMI, 2009)	24
2.11. Detalle del suple en los extremos de las barras de refuerzo horizontal (Lane, 2007)	24
2.12. Colocación de las barra de refuerzo en un muro de A.A (Moas, 1993).	25
2.13. Viga-bloque (Lane, 2007)	25
2.14. Barra de refuerzo horizontal ubicada en ductos horizontales (Bravo, 2007)	26
2.15. Detalle de la barra horizontal con resalte (Bravo, 2007)	27
2.16. Escalerillas electrosoldadas (Bravo, 2007)	27
2.17. Escalerilla con travesaño en diagonal (Bravo, 2007)	28
2.18. Detalle las barras verticales de refuerzo (Bravo, 2007)	29
2.19. Detalle las barras verticales de refuerzo (Astroza, 2008)	29
2.20. Amarra para evitar el pandeo de las barras de refuerzo vertical (Moas, 1993).	30
2.21. Detalle de las barras de refuerzo de una abertura de ventana (Bravo, 2007)	30
2.22. Sección transversal de una banda o vigueta de hormigón armado (Schacher, 2006)	31
2.23. Detalle de anclaje barra de las barras longitudinales de la banda o vigueta (Moas, 1993).	31
2.24. Detalle de la armadura de refuerzo longitudinal en el encuentro de bandas o viguetas de refuerzo (Schacher, 2006)	32
2.25. Armado de una viga de refuerzo a nivel de piso (Moas, 1993)	32
2.26. Muestra de bloques huecos de hormigón	33

2.27. Detalle del suple de refuerzo horizontal en el encuentro de muros (Moas, 1993) . . .	34
2.28. Detalle del suple de refuerzo horizontal en el encuentro de muros (Moas, 1993) . . .	35
2.29. Detalle del suple en los extremos de las barras de refuerzo horizontal. Encuentro de muros en L (ACMA, 2011)	35
2.30. Detalle del suple en los extremos de las barras de refuerzo horizontal. Encuentro de muros en T (ACMA, 2011)	36
2.31. Endentado de un muro de albañilería confinada. Pilar intermedio (Kuroiwa, 2008) .	37
2.32. Terminación endentada del paño y criterio para determinar el ancho del pilar de confinamiento (Totten, 2010)	38
2.33. Unión a ras paño-pilar con insertos de acero (Schacher, 2006)	38
2.34. Unión a ras paño-pilar con insertos de acero (Liu, 2000)	39
2.35. Unión paño-pilar con escalerillas (ACMA, 2011)	39
2.36. Unión paño-pilar con escalerillas (ACMA, 2011)	39
2.37. Aberturas de ventanas no reforzadas en una construcción en ejecución (BuildChange, 2006)	40
2.38. Aberturas de ventanas desplazadas (BuildChange, 2006)	41
2.39. Esquema del refuerzo de una abertura de ventana (Lafuente, 2007)	41
2.40. Esquema del refuerzo de una abertura de puerta (Lafuente, 2007)	42
2.41. Dimensión mínima de un pilar (Totten, 2010)	43
2.42. Detalle de las barras de refuerzo: recubrimiento, ganchos de estribos (Hausler, 2008).	43
2.43. Detalle del refuerzo en la zona del nudo pilar-cadena (Lafuente, 2007)	44
2.44. Detalle de las barras de refuerzo en un pilar de esquina, encuentro en L (Totten, 2010)	44
2.45. Detalle de las barras de refuerzo en un pilar de esquina, encuentro en L (Totten, 2010)	45
2.46. Detalle de las barras de refuerzo en el encuentro de un pilar de esquina y las cadenas de H.A (Ali, 2006)	45
2.47. Detalle del anclaje de las barras longitudinales de las cadenas en el encuentro con un pilar de esquina, encuentro en L (SENA, 2003)	46
2.48. Detalle de las barras de refuerzo en el encuentro de muros en L (Schacher, 2006) . .	46
2.49. Detalle de las barras de refuerzo en el encuentro de muros en T (Totten, 2010) . . .	47
2.50. Detalle de las barras de refuerzo en el encuentro de muros en T (Schacher, 2006) . .	47
2.51. Detalle de las barras de refuerzo en el encuentro de muros en T (Ali, 2006)	48
2.52. Detalle del anclaje de las barras longitudinales de las cadenas en el encuentro de muros en T (SENA, 2003)	48
2.53. Anclaje de las barras longitudinales del los pilares en la fundación (Totten, 2010) . .	49
2.54. Detalle del refuerzo longitudinal en el encuentro de las cadenas inclinadas. Izq: Mala ejecución. Der: Buena ejecución (BuildChange, 2006)	50
2.55. Detalle de las barras de refuerzo longitudinal en distintos sectores de los elementos de confinamiento de un tímpano (Boen, 2009)	50

2.56. Detalle de las barras de refuerzo longitudinal en distintos sectores de los elementos de confinamiento de un tímpano (SENA, 2003)	51
2.57. Detalle refuerzo longitudinal en el encuentro de las cadenas horizontales y la cadena inclinada del tímpano (BuildChange, 2006)	51
2.58. Estribos en las zonas críticas de un pilar (Totten, 2010)	52
2.59. Estribos en las zonas críticas de un pilar (Schacher, 2006)	52
2.60. Separación máxima entre pilares y cadenas de confinamiento (Totten, 2010)	53
2.61. Separación máxima y mínima entre pilares (Schacher, 2006)	54
2.62. Separación máxima y mínima entre cadenas (Schacher, 2006)	54
2.63. Separación máxima entre pilares (Kuroiwa, 2008)	54
2.64. Junta de mortero gruesas y mal ejecutadas (Hausler, 2008)	55
2.65. (a) Unidades recomendables. Macizas o perforadas con porcentaje de huecos menor que 30 %. (b) Unidades no recomendables. Huecos horizontales o paralelos a la cara de asiento (Schacher, 2006)	55
2.66. Detalle ganchos de un estribo (Totten, 2010)	56
2.67. Alternancia en la colocación de los ganchos de los estribos (Totten, 2010)	56
2.68. Alternancia en la colocación de los ganchos de los estribos en obra	57
2.69. Refuerzo horizontal ubicado en la junta de mortero (BuildChange, 2006)	57
2.70. (a) Distribución de refuerzo horizontal a lo alto del paño de albañilería. (b) Anclaje en pilar de confinamiento (BuildChange, 2006)	58
2.71. Recrecido de la unión pilar-cadena (Narafu, 2008)	59
2.72. Recrecido de la unión pilar-cadena (Kuroiwa, 2008)	59
2.73. Recrecido de la unión pilar-cadena (Crisafulli <i>et al.</i> , 2000)	59
3.1. Falla en el empalme por traslape de las barras de refuerzo horizontal (Astroza, 2010)	64
3.2. Diametro excesivo de la barra de refuerzo vertical (Astroza, 1985)	65
3.3. Falla por pandeo de barra de refuerzo vertical (Astroza, 2010)	66
3.4. Falla por pandeo de barra de refuerzo vertical (Astroza, 1985)	66
3.5. Daño en un muro con barras de refuerzo mal distribuidas en el interior del paño de albañilería (Astroza, 2010)	67
3.6. Daño en un muro sin barras de refuerzo horizontal en el paño de albañilería (Astroza, 1985)	68
3.7. Daño en torno de una abertura por falta de refuerzo horizontal (Astroza, 2010)	69
3.8. Daños en encuentro de muros (Núñez, 2010)	70
3.9. Daños en encuentro de muros (Núñez, 2010)	71
3.10. Vaciamiento por falla de la unión entre el paño de albañilería y el pilar de confinamiento (Astroza <i>et al.</i> , 2010a)	72
3.11. Inicio del vaciamiento por falla en la unión entre el paño de albañilería y el pilar de confinamiento (BuildChange, 2006)	72

3.12. Inicio del agrietamiento en la unión entre el paño de albañilería y el pilar de confinamiento (BuildChange, 2006)	73
3.13. Daños en zona de aberturas (Astroza <i>et al.</i> , 2010b)	73
3.14. Daños en el paño de albañilería vecino a una abertura de puerta no reforzada (Pinto, 2011)	74
3.15. Daño severo en un pilar de confinamiento de dimensiones reducidas (Astroza <i>et al.</i> , 2010b)	75
3.16. Daño severo en un pilar de confinamiento de dimensiones reducidas (Astroza <i>et al.</i> , 2010b)	75
3.17. Daño en el nudo de encuentro de un pilar y de una cadena (Astroza <i>et al.</i> , 2010b) .	76
3.18. Daño en el nudo de encuentro de un pilar y de una cadena (Astroza <i>et al.</i> , 2010b) .	77
3.19. Daño en el nudo de encuentro de un pilar y de una cadena (Astroza, 2010)	77
3.20. Daño en el empalme de barras longitudinales de una cadena de confinamiento (Astroza, 2010)	78
3.21. Daño en el empalme de barras longitudinales de una cadena de confinamiento (Astroza, 2010)	79
3.22. Zonas críticas en los pilares de confinamiento cuando el desplazamiento del muro es hacia la derecha (Astroza, 2008)	80
3.23. Daño en un pilar de confinamiento por falta de estribos (Astroza <i>et al.</i> , 2010b) . . .	80
4.1. Identificación de los detalles seleccionados.	85
4.2. Distribución de las barras de refuerzo horizontal (escalerillas) a lo alto de un paño de albañilería.	87
4.3. Distribución de las barras de refuerzo vertical a lo largo de un paño de albañilería. .	88
4.4. Empalme por traslape de escalerillas.	89
4.5. Detalle de anclaje y empalme del refuerzo vertical distribuido a lo largo del paño de albañilería.	91
4.6. Detalle del empalme por traslape de las barras de refuerzo vertical.	92
4.7. Detalle del empalme por traslape de las barras de refuerzo vertical.	93
4.8. Refuerzo de aberturas.	94
4.9. Anclaje del refuerzo horizontal (escalerilla) en el borde libre de un muro. Alternativa A.	95
4.10. Anclaje del refuerzo horizontal (escalerilla) en el borde libre de un muro. Alternativa B.	96
4.11. Detalle del anclaje del refuerzo horizontal (escalerilla) en un encuentro de muros en T . Alternativa A.	98
4.12. Detalle del anclaje del refuerzo horizontal (escalerilla) en un encuentro de muros en T . Alternativa B.	99
4.13. Detalle del refuerzo horizontal del muro que continua en un encuentro de muros en T.100	

4.14. Detalle del anclaje del refuerzo horizontal (escalerilla) en un encuentro de muros en L. Alternativa A.	101
4.15. Detalle del anclaje del refuerzo horizontal (escalerilla) en un encuentro de muros en L. Alternativa B.	102
4.16. Detalle del anclaje del refuerzo horizontal (escalerillas) en un encuentro de muros en cruz.	103
4.17. Detalle de las barras longitudinales de las cadenas de confinamiento en un encuentro en T.	104
4.18. Detalle de las barras longitudinales de las cadenas de confinamiento en un encuentro en L.	105
4.19. Detalle de las barras longitudinales de las cadenas de confinamiento en un encuentro en cruz.	106
4.20. Identificación de los detalles seleccionados.	108
4.21. Detalle de la unión endentada entre el paño de albañilería y un pilar de confinamiento intermedio.	109
4.22. Detalle de la unión endentada entre el paño de albañilería y un pilar de confinamiento en el encuentro de muros.	110
4.23. Detalle de la unión con conectores de acero entre el paño de albañilería y el pilar de confinamiento intermedio.	111
4.24. Detalle de la unión con conectores entre el paño de albañilería y un pilar de confinamiento en el encuentro de muros.	112
4.25. Dimensión mínima de un pilar para encuentro de muros en T y armado en la dirección donde actúa como pilar de borde libre	114
4.26. Dimensión mínima de un pilar para un encuentro de muros en L y armado considerando que en ambas direcciones actúa como pilar de borde libre	115
4.27. Dimensión mínima de un pilar para un encuentro de muros en Cruz y armado considerando que actúa como pilar de borde en la dirección mas débil	116
4.28. Dimensión mínima de un pilar de borde.	117
4.29. Dimensión mínima de una cadena de confinamiento.	118
4.30. Separación de los estribos de refuerzo en las zonas críticas de un pilar de confinamiento	119
4.31. Refuerzo de una abertura de puerta con pilares de hormigón armado	120
4.32. Refuerzo de una abertura con barras incluidas en los huecos de las unidades y en las juntas horizontales de mortero.	121
4.33. Refuerzo de una abertura con pilares de confinamiento y cadeneta	122
4.34. Detalle de barras longitudinales de cadenas de confinamiento en encuentro de muros en T. Caso A	124
4.35. Detalle de barras longitudinales de cadenas de confinamiento en encuentro de muros en T. Caso B	125

4.36. Detalle de barras longitudinales de cadenas de confinamiento en encuentro de muros en L. Caso A	126
4.37. Detalle de barras longitudinales de cadenas de confinamiento en encuentro de muros en L. Caso B	127
4.38. Detalle de barras longitudinales de cadenas de confinamiento en encuentro de muros en Cruz. Caso A	128
4.39. Detalle de barras longitudinales de cadenas de confinamiento en encuentro de muros en Cruz. Caso B	129
4.40. Detalle del anclaje de las barras longitudinales del pilar de confinamiento. Caso B .	130
4.41. Detalle de empalme de barras longitudinales de cadenas y pilares de confinamiento .	131
4.42. Detalle del refuerzo en la zona del nudo de encuentro cadena-pilar	132
4.43. Detalle de las barras de refuerzo horizontal en el encuentro de muros en T.	133
4.44. Detalle de las barras de refuerzo horizontal en el encuentro de muros en L.	134
4.45. Detalle de refuerzos de un tímpano de albañilería	135
4.46. Distribución de las barras de refuerzo horizontal (escalerillas) a lo alto de un paño de albañilería	136
4.47. Detalle de las escalerillas para el encuentro de muros en T	137
4.48. Detalle de las escalerillas para el encuentro de muros en L	138
4.49. Detalle de las escalerillas para el encuentro de muros en Cruz	139

Índice de tablas

2.1. Dimensiones y largos de embebimiento (NCMA, 2007)	19
--	----

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

Luego de los terremotos que han ocurrido en los últimos años tanto en Chile como en resto del mundo, se ha podido comprobar que algunos edificios de albañilería han sufrido daños estructurales graves debido al mal detallamiento de sus refuerzos, sean estos los pilares y cadenas de los muros de albañilería confinada o bien las barras de refuerzo distribuidas vertical y horizontalmente de los muros de albañilería armada.

Teniendo en cuenta este resultado, surge la necesidad de contar con soluciones para el detallamiento de los refuerzos de muros de albañilería armada y confinada considerando que la albañilería es y seguirá siendo el material más utilizado en la construcción de viviendas en nuestro país. Esta necesidad también surge si se considera que en países en desarrollo como Indonesia, Haití, entre otros. existen manuales de buena practica para la construcción de viviendas de albañilería reforzada. Por otro lado en los países en desarrollo existen manuales de detallamiento bien completos y sus normas incluyen soluciones para el detalle de las barras de refuerzo.

Las soluciones propuestas indican la forma en que se deben doblar y colocar las barras de refuerzo para que puedan trabajar en buena forma una vez que se produce el agrietamiento del paño de albañilería durante un terremoto de gran magnitud.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Elaborar un manual de detallamiento de las barras de refuerzo de los muros de albañilería armada y de los elementos de confinamiento de los muros de albañilería confinada.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Revisar las recomendaciones que existen, en Chile y el extranjero, para el detallamiento de los refuerzos para muros de albañilería armada y confinada.
- Revisar los daños debido a un mal detallamiento de los refuerzos durante los terremotos de características destructivas que han ocurrido en Chile y en el mundo.
- Proponer soluciones relacionados con el detallamiento de los refuerzos de muros de albañilería armada y confinada.

1.3. Metodología

- Realizar una recopilación de los daños ocurridos en los terremotos debido a un mal detallamiento de los refuerzos en edificaciones de albañilería.
- Revisar los manuales de detallamiento para elementos de hormigón armado para reunir información para los detalles de las barras de refuerzo de pilares y cadenas de hormigón armado.
- Revisar en la literatura de albañilería disponible (libros, fichas técnicas, etc.) la información y recomendaciones relacionada con el detallamiento de los refuerzos.
- Revisar las disposiciones y limitaciones de las normas chilenas y extranjeras relacionados con el detallamiento de las barras de refuerzo (criterios de diseño de empalmes, anclajes, confinamiento, etc.).
- Procesar la información reunida para generar recomendaciones de detallamiento para muros de albañilería reforzada.

1.4. Alcances por Capítulo

A continuación se muestra el contenido de cada capítulo de la memoria de título.

Capítulo 1 - Introducción

En este capítulo se presenta la motivación, los objetivos y la metodología ocupada en el desarrollo de la memoria.

Capítulo 2 - Antecedentes sobre el detallamiento de los refuerzos y de los paños de albañilería de un muro de albañilería reforzada

En este capítulo se dan a conocer antecedentes del detallamiento de los refuerzos y de los paños de albañilería reunidos de la revisión de publicaciones sobre estructuras de albañilería reforzada.

Capítulo 3 - Daños sísmicos debido a un mal detallamiento de los refuerzos de los muros de albañilería

En este capítulo se describen los daños observados en muros de albañilería reforzada en sismos de gran intensidad donde se aprecian detalles mal resueltos .

Capítulo 4 - Selección de detalles típicos

En este capítulo se dan a conocer los detalles seleccionados para lograr un buen comportamiento de los muros de albañilería reforzada.

Capítulo 5 - Comentarios y conclusiones

En este capítulo se presentan las conclusiones finales de la memoria.

Capítulo 2

Antecedentes sobre el detallamiento de los refuerzos y de los paños de albañilería de un muro de albañilería reforzada

El principio básico de una construcción sismoresistente es que la misma funcione como un todo (integridad global) para impedir que se agriete cuando ocurran sismos pequeños y que colapse durante sismos fuertes.

Ejemplos del cumplimiento de estos objetivos son muchos y la experiencia reunida indica que ésto se logra en la medida que se cuente con una *densidad mínima de muros* y que las partes que forman el sistema sismorresistente: fundación, muros y sistemas de piso y techo, tengan *integridad global y local*, para lo cual es fundamental el uso de los refuerzos, los que deben estar bien dimensionados, ubicados y detallados.

Algunos ejemplos de un buen diseño y un mal diseño de viviendas de albañilería pueden verse en las Figuras 2.1 y 2.2, respectivamente.



Figura 2.1: Albañilería confinada bien diseñada y construida (Hausler, 2008)



Figura 2.2: Albañilería confinada mal diseñada y construida (Hausler, 2008)

El buen resultado observado en la figura 2.1 ha sido consecuencia de la redacción de normas de diseño y cálculo de edificios de albañilería reforzada y de manuales de buena práctica para viviendas económicas de un piso.

En el caso chileno la publicación de las normas NCh2123 y NCh1928 marca la diferencia entre el buen resultado observado en el terremoto del 27 de febrero de 2010 ($M_w=8.8$) con lo observado en los terremotos anteriores, especialmente con el ocurrido el 3 de marzo de 1985 ($M_w=8.0$).

Si se analizan los casos donde hubo daños severos durante el terremoto del 27 de febrero de 2010 se observa que muchos de ellos se deben a problemas relacionados con tres temas:

- (I) Configuración del sistema estructural: *Tamaño de aberturas, alto y largo de los muros, ubicación de las aberturas.*
- (II) Uniones: *Entre elementos de confinamiento, entre el paño y los pilares de confinamiento, entre la viga solera y la estructura del techo.*
- (III) Calidad de la construcción: *Calidad de la albañilería, calidad del hormigón de relleno de los huecos y de los elementos de confinamiento, refuerzos de los paños de albañilería, refuerzos*

de las aberturas de los paños de albañilería.

Teniendo en cuenta este resultado, en el presente capítulo se entrega información sobre las recomendaciones de normas de diseño y cálculo y de manuales de buena práctica que están relacionadas con el detallamiento de los refuerzos y de los paños de albañilería.

2.1. Muros de albañilería armada (A.A.)

En esta modalidad de refuerzo, los refuerzos del muro son barras de acero distribuidas vertical y horizontalmente en el interior del paño de albañilería y su función es: (a) incrementar la resistencia, (b) lograr ductilidad, y (c) controlar el agrietamiento ante cambios volumétricos que produce la contracción por secado del paño albañilería.

Para lograr que las barras de refuerzo cumplan con las funciones destacadas, es necesario cuidar el diámetro que se elija y su detallamiento para evitar que se produzca, entre otras situaciones, congestión de barras y con ello problemas de consolidación del hormigón o del mortero en el cual están las barras embebidas.

Comercialmente los diámetros de las armaduras disponibles para reforzar un muro de A.A., son los que se usan en la construcción de los elementos de hormigón armado (H.A.) pero su elección está sujeta a las restricciones que presentan los muros de A.A. las que limitan tanto el diámetro como la forma en que se distribuyen y anclan las barras en el interior del muro, esto se refiere a que los muros de albañilería reforzada no permiten dobleces de barras de refuerzo en otros ángulos que no sean 90° y que tampoco pueden utilizarse barras de refuerzo diagonales en el interior de los muros debido a que los huecos para la colocación de estos son verticales u horizontales .

Teniendo en cuenta lo anterior, las normas de diseño y los manuales de buena práctica para edificios de albañilería armada, limitan el diámetro de las barras en función del espesor del muro, de la dimensión de los huecos y del espesor de las juntas horizontales de mortero donde se ubican. Además establecen límites relacionados con el mínimo recubrimiento de la barra para protegerla de la corrosión y para evitar una falla por "splitting" (falla en que las fisuras provocadas por las compresiones en los resaltes de las barras se propagan al hormigón generando grietas en éste) en las zonas donde se empalman las barras de refuerzo por traslape.

En términos generales, algunos de los requisitos relacionados con el detallamiento que deben cumplir las construcciones con muros de albañilería armada para lograr la integridad destacada son los que se destacan a continuación.

2.1.1. Empalme y anclaje de las barras de refuerzo vertical y horizontal

Para traspasar en forma adecuada las tensiones entre una barra y el grout o mortero en el cual está embebida o entre una barra y otra en la zona de un empalme, es necesario contar con un largo de desarrollo u otro dispositivo de empalme.

En la medida que este traspaso se realice por medio de una longitud de desarrollo, éste se logra por la trabazón mecánica en los resaltes de la barra de refuerzo de acero y por un recubrimiento suficiente de albañilería que impida una falla por "splitting" de la superficie libre de albañilería a lo largo de la barra de refuerzo.

En la medida que las barras de refuerzo se anclen con ganchos o por una combinación de ganchos y longitud de desarrollo, los ganchos deben cumplir requerimientos como los indicados en la Figura 2.3 y en la Tabla 2.1

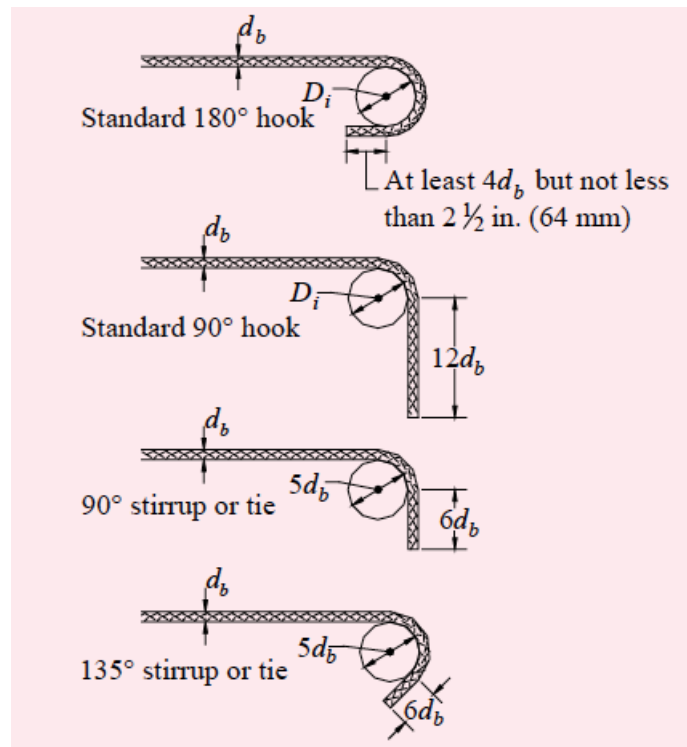


Figura 2.3: Ganchos estándar (NCMA, 2007)

Tamaño de la barra no.	Diámetro de la barra d_b in. (mm)	Diámetro mínimo de curvatura D_i in. (mm)	Largo $4d_b$ en ganchos de 180° in. (mm)	Largo $6d_b$ en ganchos de 135° in. (mm)	Largo $12d_b$ en ganchos de 90° in. (mm)	Largo equivalente de embebimiento l_e in. (mm) para esfuerzos admisibles $l_e = 11,25d_b$	Largo equivalente de embebimiento l_e in. (mm) para esfuerzos admisibles $l_e = 13d_b$
3 (M#10)	0.375 (9.5)	2.3 (57)	2.5 (64)	4.0 (102)	4.5 (114)	4.2 (107)	4.8 (122)
4 (M#13)	0.500 (13)	3.0 (76)	2.5 (64)	4.0 (102)	6.0 (152)	5.6 (143)	6.5 (165)
5 (M#16)	0.625 (16)	3.8 (95)	2.5 (64)	4.0 (102)	7.5 (191)	7.0 (178)	8.1 (206)
6 (M#19)	0.750 (19)	4.5 (114)	3.0 (76)	4.5 (114)	9.0 (229)	8.4 (214)	9.7 (246)
7 (M#22)	0.875 (22)	5.3 (133)	3.5 (89)	5.3 (133)	10.5 (267)	9.8 (250)	11.3 (287)
8 (M#25)	1.000 (25)	6.0 (152)	4.0 (102)	6.0 (152)	12.0 (305)	11.2 (286)	13.0 (330)
9 (M#29)	1.128 (29)	9.0 (229)	4.5 (115)	6.8 (172)	13.5 (343)	12.6 (322)	14.6 (371)
10 (M#32)	1.270 (32)	10.2 (259)	5.1 (130)	7.6 (193)	15.2 (386)	14.3 (363)	-
11 (M#36)	1.410 (36)	11.3 (287)	5.6 (142)	8.5 (216)	16.9 (429)	15.9 (404)	-

Tabla 2.1: Dimensiones y largos de embebimiento (NCMA, 2007)

A partir de las dimensiones mínimas de los ganchos se determina la longitud de desarrollo equivalente, l_e , para una tensión admisible de la albañilería. Como ejemplo, en la Tabla 2.1 se indican los valores de l_e cuando se considera una tensión admisible de la albañilería de 51,7 MPa (esta resistencia corresponde a la resistencia de los ladrillos utilizados en EEUU para la construcción de albañilería reforzada) y un embebimiento del gancho suficiente para impedir un aplastamiento o falla por arranque. Cuando la longitud l_e es menor que la longitud mínima de desarrollo requerida, l_d , se debe agregar una longitud de desarrollo igual a $(l_d - l_e)$.

Para el caso de las barras de refuerzo horizontal electrosoldadas el deslizamiento de las barras es resistido tanto por adherencia a lo largo de las barras longitudinales como por trabazón mecánica en los travesaños de las escalerillas mientras se encuentren embebidos en el mortero de la junta horizontal, los cuales pueden corresponder a un porcentaje reducido de los travesaños cuando se construye una albañilería armada con unidades huecas de geometría similar a los bloque de hormigón con un relleno parcial de los huecos (sólo de aquellos huecos donde se ubican las barras verticales de refuerzo).

La norma de diseño de A.A. americana (MSJC, 2011) recomienda para las escalerillas electrosoldadas una longitud del empalme por traslape mínima de 152 mm para transferir las tensiones producidas por efecto de la contracción de secado, ver Figura 2.4. En el caso de la NCh1928 este largo es de 40 veces el diámetro de la barra de refuerzo horizontal, es decir, para el caso de escalerillas ACMA, 168 mm.

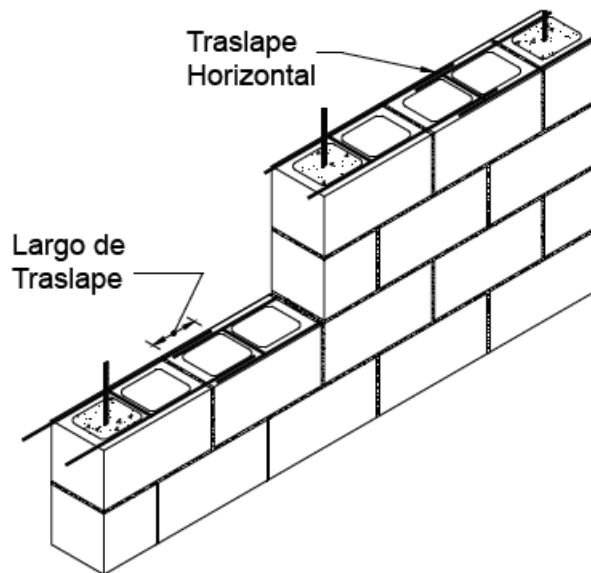


Figura 2.4: Empalme por traslape de escalerillas electrosoldadas. Largo de traslape para efectos de la contracción por secado de la albañilería (NCMA, 2005)

Teniendo en cuenta el tipo de acción para el cual se recomienda la longitud de empalme de la Figura 2.4, se debe tener en cuenta que esta longitud de empalme puede ser insuficiente para las demandas que produce la acción de un terremoto, por lo cual es razonable no usar empalme de este tipo de refuerzo mientras no se cuente con resultados experimentales que la respalden.

En relación con los empalmes de las armaduras verticales, se recomienda hacerlo fuera de las zonas críticas es decir de las zonas más demandadas por un sismo, especialmente cuando el modo de falla del muro está controlado por el momento de flexión. Para los efectos de materializar este empalme algunas publicaciones como "Longitud de empalme por traslape de barras de refuerzo vertical de muros de albañilería armada." (Astroza & Silva, 2005) y el "Manual de construcción con bloques de concreto." (Bravo, 2007) recomiendan un largo mínimo como el indicado en las Figuras 2.5 y 2.7 y que puede variar entre 40 y 60 diámetros de la barra que se empalma.

En el extremo superior, último piso de la construcción, se debe anclar estas barras usando algún detalle que garantice un buen anclaje, una solución es la mostrada en la Figura 2.6.

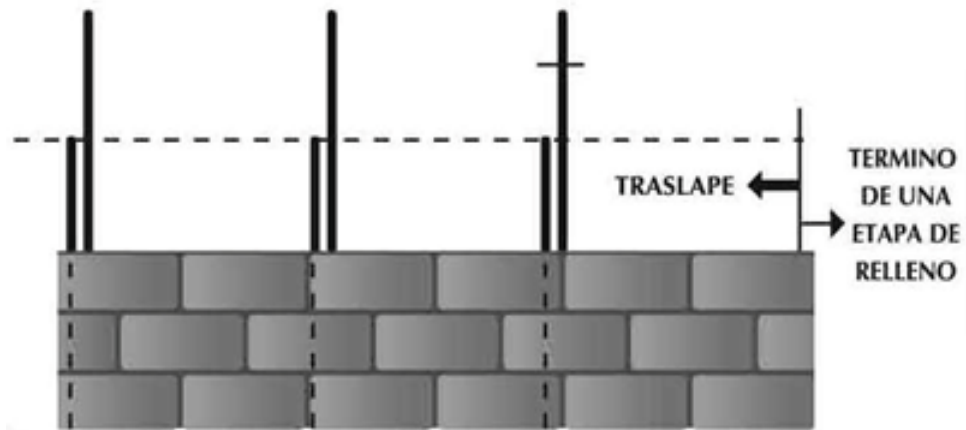


Figura 2.5: Empalme por traslape de las barras de refuerzo vertical de un muro de A.A (Bravo, 2007)

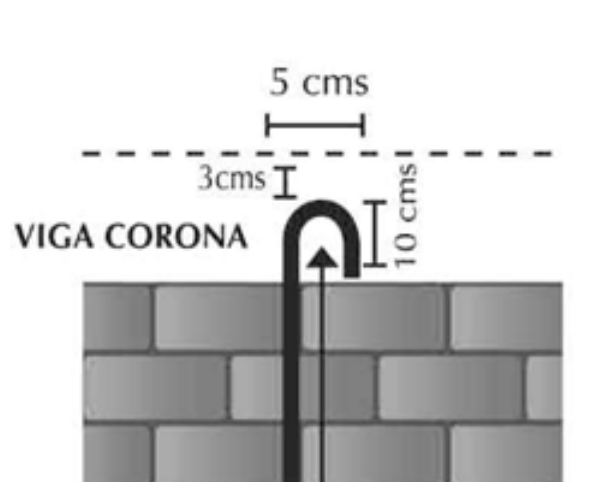


Figura 2.6: Anclaje del extremo superior de una barra de refuerzo vertical (Bravo, 2007)

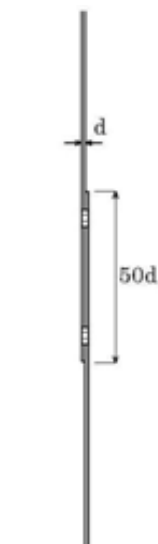


Figura 2.7: Empalme de armadura vertical en muros de AA (Moas, 1993)

En relación con el anclaje de las barras de refuerzo horizontal en los extremos y encuentros de muros, se recomiendan soluciones como las mostradas en las Figuras 2.8 y 2.9. La diferencia entre ellas es el uso de un suple en la solución mostrada en las Figuras 2.9 y 2.10, sin gancho en las barras de refuerzo horizontal, suple que se utiliza también en la Figura 2.11. La primera solución se contradice con las prácticas que se usan en Chile pues el doblaje de las barras longitudinales se hacen por la cara anterior del elemento perpendicular y no el posterior como lo recomienda el "Manual de detallamiento para elementos de hormigón armado" (ICH, 2009). Las otras dos soluciones, aseguran una buena unión del encuentro de muro pero sin embargo, utilizan una solución que no se practica mucho en Chile como es el relleno total de huecos y unidades con huecos longitudinales para la colocación de armaduras.

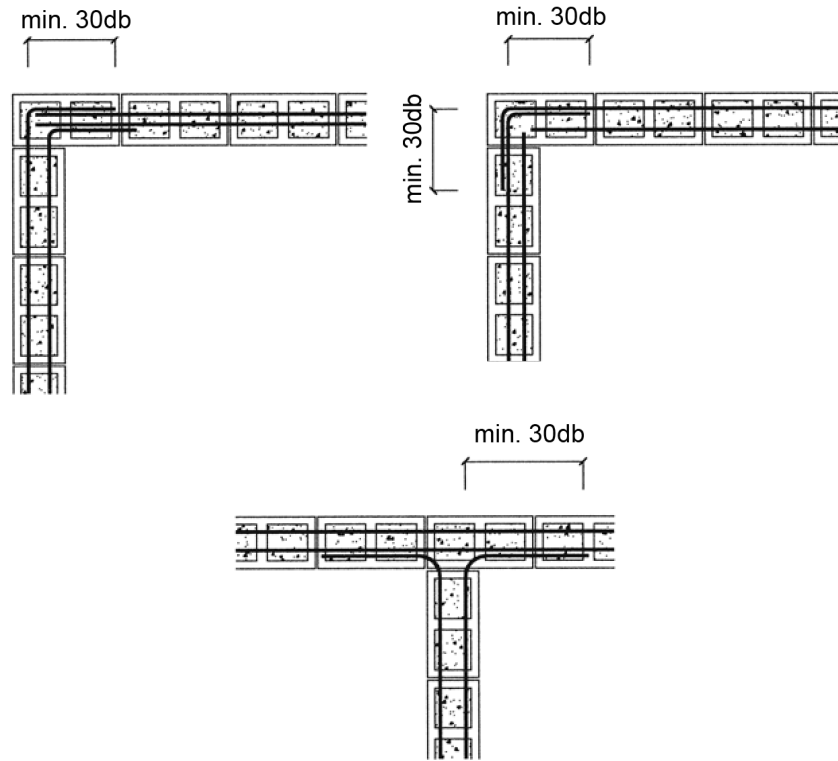


Figura 2.8: Anclaje de los extremos de las barras de refuerzo horizontal (Lane, 2007)

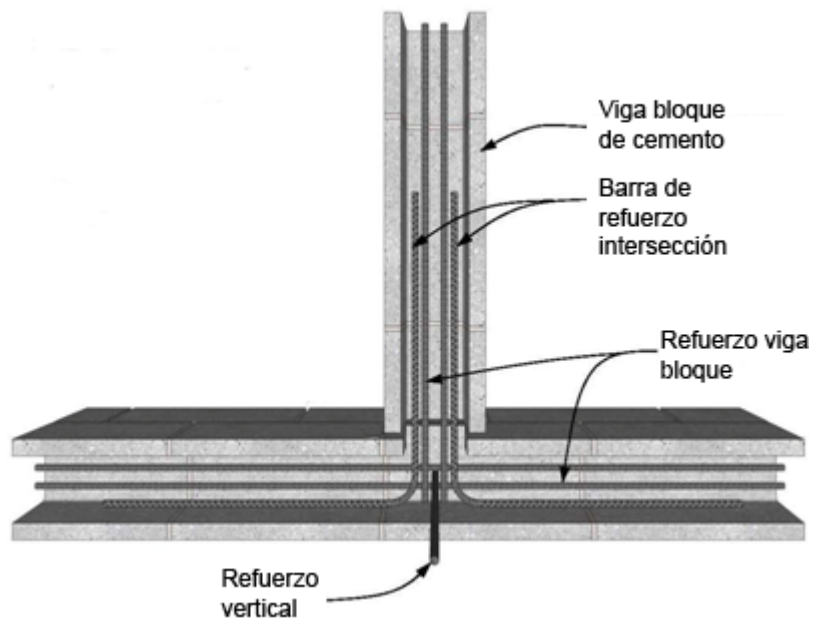


Figura 2.9: Anclaje de los extremos de las barras de refuerzo horizontal en L (IMI, 2009)

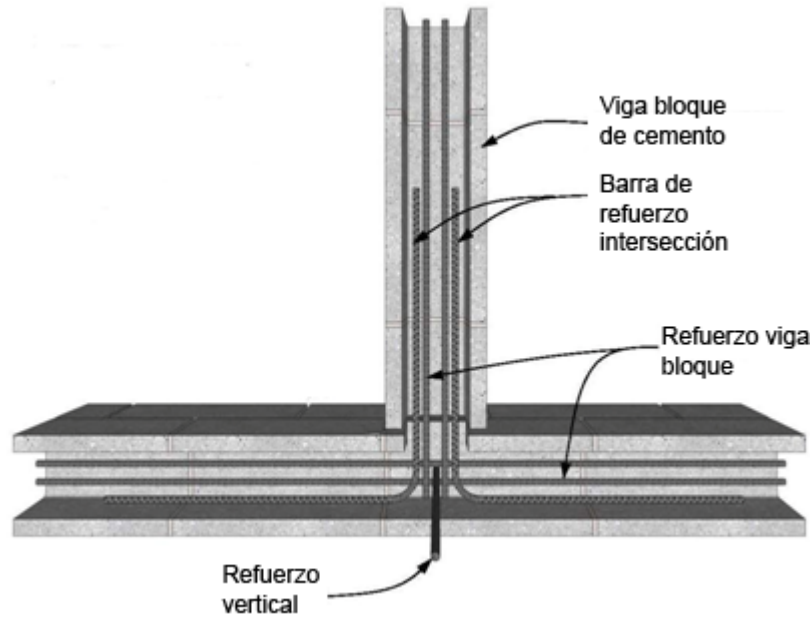


Figura 2.10: Anclaje de los extremos de las barras de refuerzo horizontal en T (IMI, 2009)

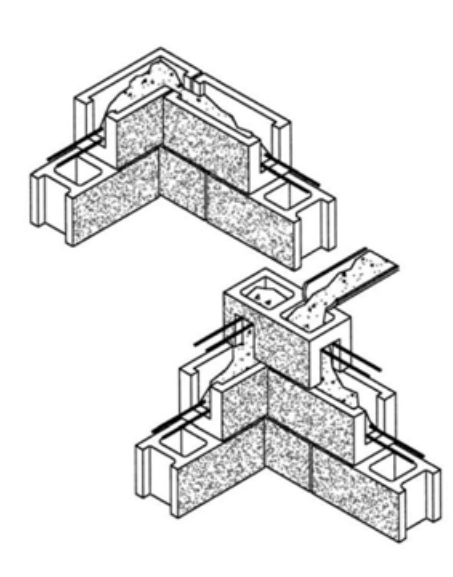


Figura 2.11: Detalle del suple en los extremos de las barras de refuerzo horizontal (Lane, 2007)

2.1.2. Diámetro y distribución de las barras de refuerzo

Las barras verticales y horizontales de refuerzo deben quedar embebidas en el hormigón de relleno y en el mortero de junta. Además deben colocarse distribuidas a lo largo y alto de los muros manteniendo una separación constante entre ellas (ver Figura 2.12).

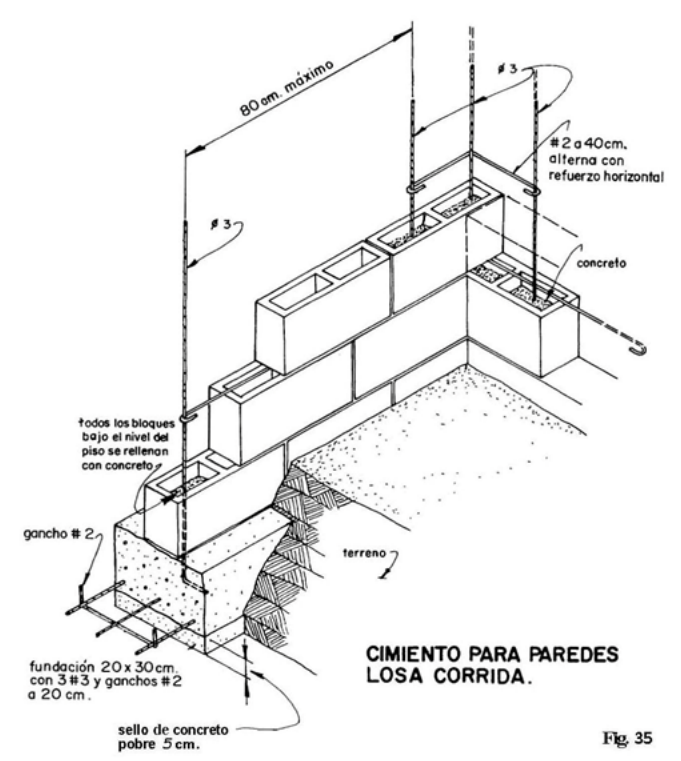


Figura 2.12: Colocación de las barra de refuerzo en un muro de A.A (Moas, 1993).

Como se aprecia en la Figura 2.12, los huecos donde se ubican las barras de refuerzo se rellenan con hormigón o mortero de relleno. En el caso de usar hormigón de relleno, éste debe ser fluido, con un alto descenso en el cono de Abrams (18cm), y con una resistencia mínima a la compresión, 17.5MPa, a los 28 días para efecto de evitar fallas de adherencia.

2.1.2.1. Refuerzo Horizontal

En relación con las barras de refuerzo horizontal, se pueden usar tres opciones:

- a. Barra de refuerzo con resaltes empleando bloques especiales para formar una viga-bloque (ver Figura 2.13)

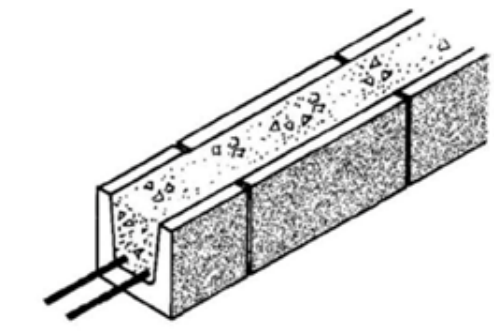


Figura 2.13: Viga-bloque (Lane, 2007)

El detallamiento de las barras de refuerzo al llegar a bordes verticales de los muros es un punto crítico por el reducido espacio que se dispone para el anclaje del refuerzo horizontal.

- b. Barras de refuerzo con resalte colocadas en bloques especiales que permitan formar un hueco horizontal donde ubicar la barra horizontal. El refuerzo horizontal debe quedar completamente embebido en hormigón o mortero de relleno a todo lo largo del hueco, hueco que debe extenderse a todo el largo del muro (ver figura 2.14). La notación para las barras de refuerzo que se muestran en la figuras siguientes corresponde a la nomenclatura americana para diámetros de barras, barras #2(8mm), #3(10mm), #4(13mm).

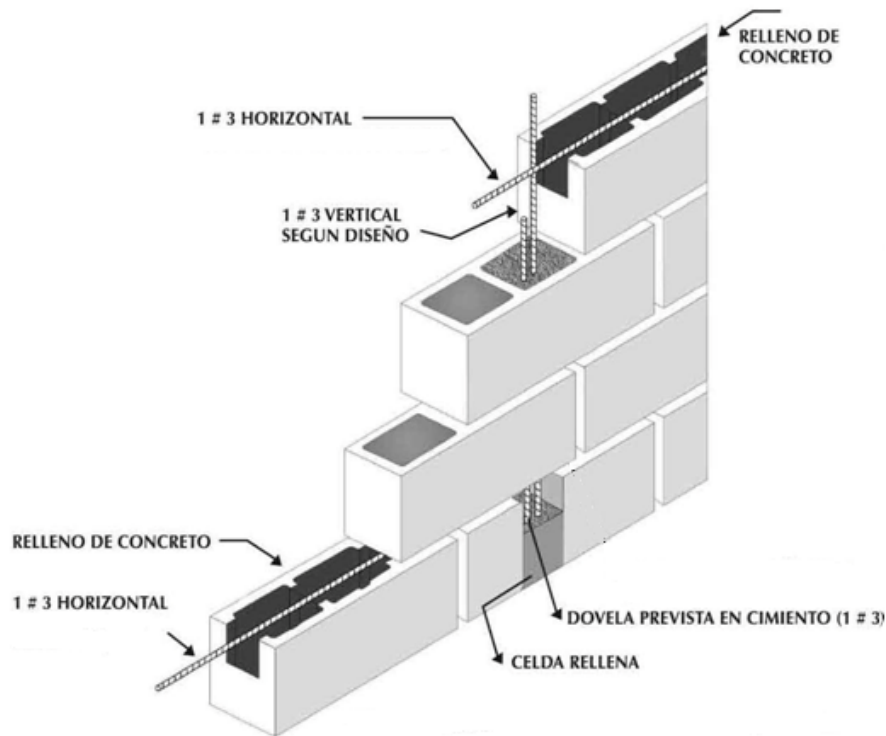


Figura 2.14: Barra de refuerzo horizontal ubicada en ductos horizontales (Bravo, 2007)

Desde el punto de vista del detallamiento de estas barras, en la Figura 2.15 se muestran algunos de ellos, entre los que se destacan el anclaje de las barras en el encuentro de los muros y en las aberturas de puertas y ventanas.

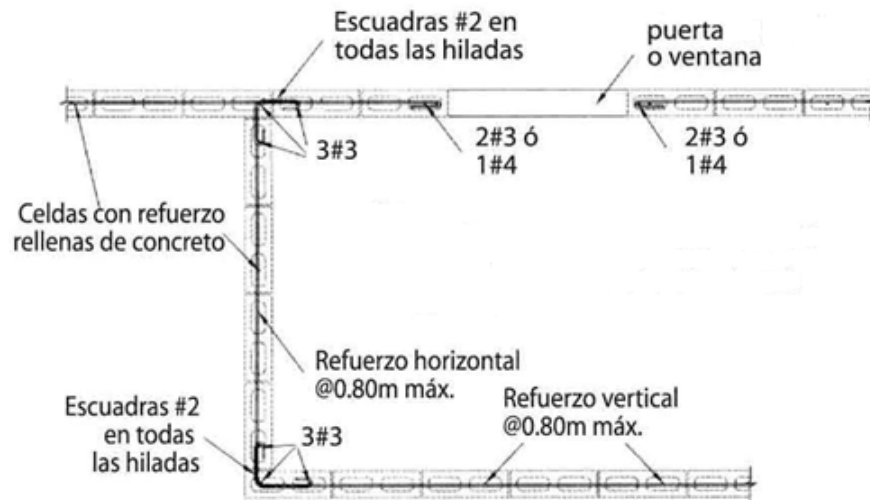


Figura 2.15: Detalle de la barra horizontal con resalte (Bravo, 2007)

- c. Escalerilla electrosoldada de diámetro limitado (alrededor de 4.2mm) embebida en el mortero de junta (ver Figura 2.16), la cual se coloca una vez esparcido el mortero de junta, presionándola para que quede sumergida y así lograr una buena adherencia. No se recomienda el uso de escalerilla con travesaño diagonal porque interfiere con el llenado de los huecos verticales (ver Figura 2.17).

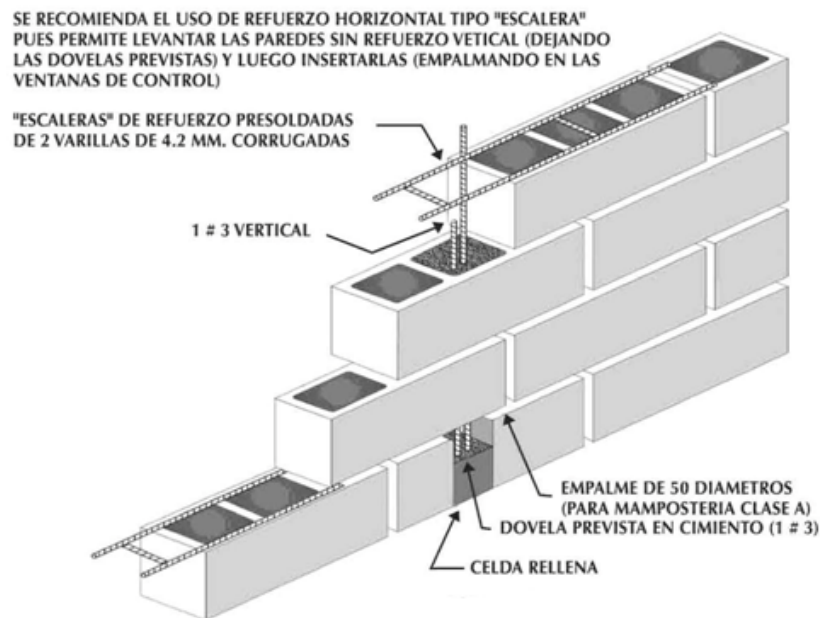


Figura 2.16: Escalerillas electrosoldadas (Bravo, 2007)

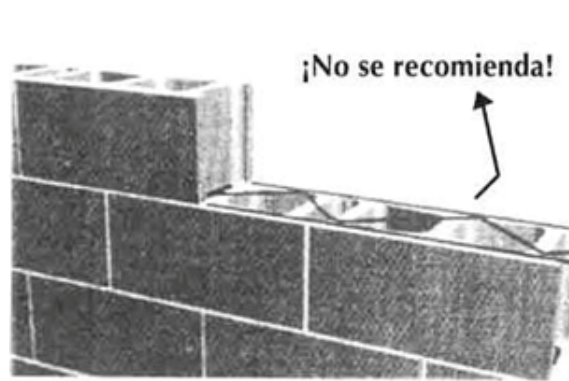


Figura 2.17: Escalerilla con travesaño en diagonal (Bravo, 2007)

El refuerzo horizontal embebido en el mortero de junta constituye la opción más usada en Chile y se materializa colocando barras de refuerzo horizontal, de diámetro menor o igual a 6 mm, o escalerillas electrosoldadas.

En la medida que se usen barras de refuerzo de 6 mm de diámetro, se recomienda que sean con resaltes y amarrarlas a las barras de refuerzo vertical para garantizar su posición. Estas barras de refuerzo horizontal deben terminar en un gancho, de preferencia en 180°, alrededor de la barra de refuerzo vertical ubicada en el borde del muro.

En la medida que se utilice barras de refuerzo que correspondan a escalerillas electrosoldadas, éstas se deben ubicar en las juntas horizontales de mortero de modo que cada una de las dos barras longitudinales de la escalerilla queden embebidas en el mortero ubicado sobre la cáscara de la unidad a lo largo de la sección transversal del muro con un recubrimiento de mortero mínimo que la proteja de acuerdo con el nivel de exposición a la intemperie o al contacto con el suelo del muro, la norma NCh1928 recomienda como mínimo un recubrimiento de 1cm, con respecto a la pared interior del tabique o cáscara. Además, para elementos en contacto con la tierra debe usarse un recubrimiento mínimo de 5cm. Esta condición obliga a contar con escalerillas electrosoldadas fabricadas con diferente separación entre sus barras longitudinales, separación que dependerá de las dimensiones de la unidad de albañilería que se utilice en la construcción del muro.

2.1.2.2. Refuerzo Vertical

Desde el punto de vista del detallamiento de estas barras, en la Figura 2.18 y 2.19 se muestran algunos de ellos. Entre ellos se destacan el anclaje de las barras y la ubicación donde deben colocarse estas barras a lo largo del muro teniendo en cuenta la presencia de las aberturas de puertas y ventanas.

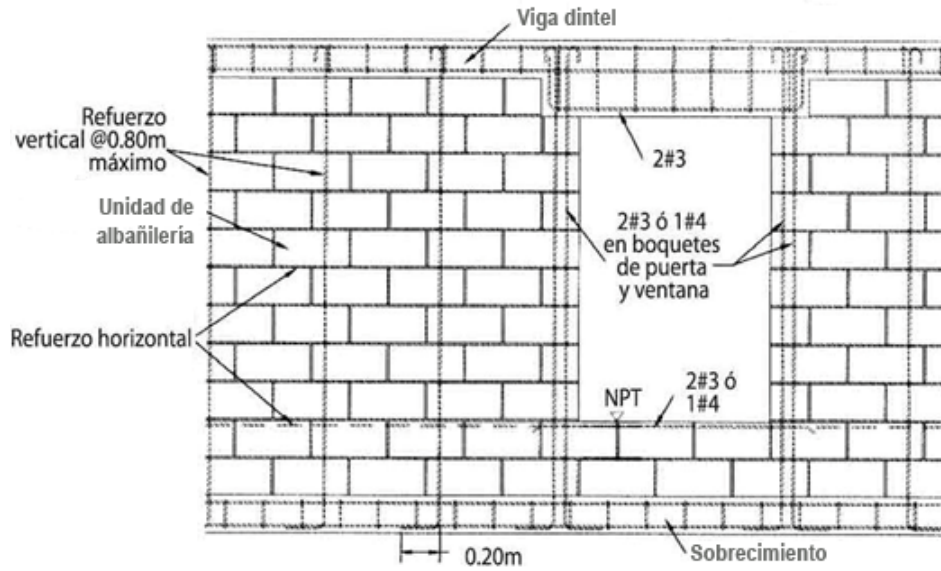


Figura 2.18: Detalle las barras verticales de refuerzo (Bravo, 2007)

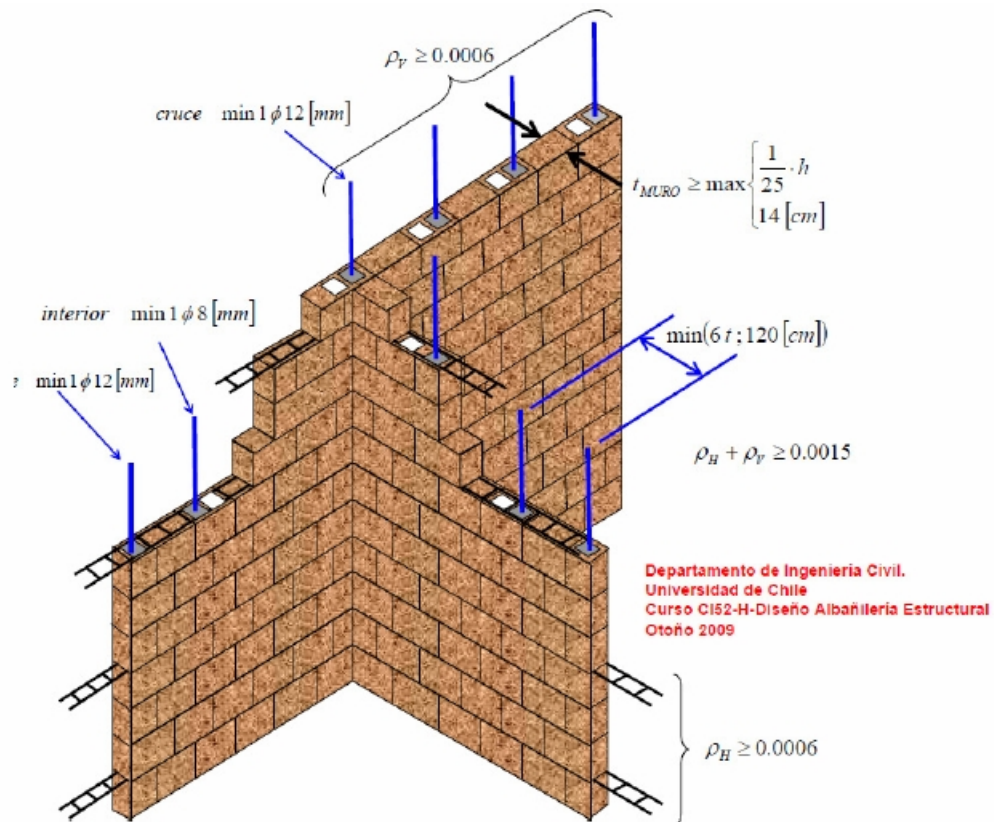


Figura 2.19: Detalle las barras verticales de refuerzo (Astroza, 2008)

2.1.3. Amarra de las barras de refuerzo vertical

Las dimensiones de los huecos donde se ubican las barras de refuerzo vertical restringen su diámetro, aumentando su esbeltez. En la medida que las barras de refuerzo horizontal se distribuyan separándolas a más de 15 cm, es necesario colocar ganchos o amarras en las juntas horizontales de mortero para reducir el riesgo de pandeo de las barras de refuerzo vertical de borde de un muro de A.A.

Un ejemplo del tipo de amarra que se recomienda para este efecto, es el mostrado en la Figura 2.20.



Figura 2.20: Amarra para evitar el pandeo de las barras de refuerzo vertical (Moas, 1993).

2.1.4. Barras de refuerzo en torno de las aberturas de ventanas

Las normas y manuales de diseño recomiendan el uso de barras verticales y horizontales con un diámetro mínimo, ϕ min (en el caso de armaduras verticales 8mm y para horizontales 4mm (INN, 2003a)), y una longitud de anclaje mínima dentro del paño de albañilería en las aberturas de puertas y ventanas. Un ejemplo de este tipo de refuerzo se muestra en la Figura 2.21.

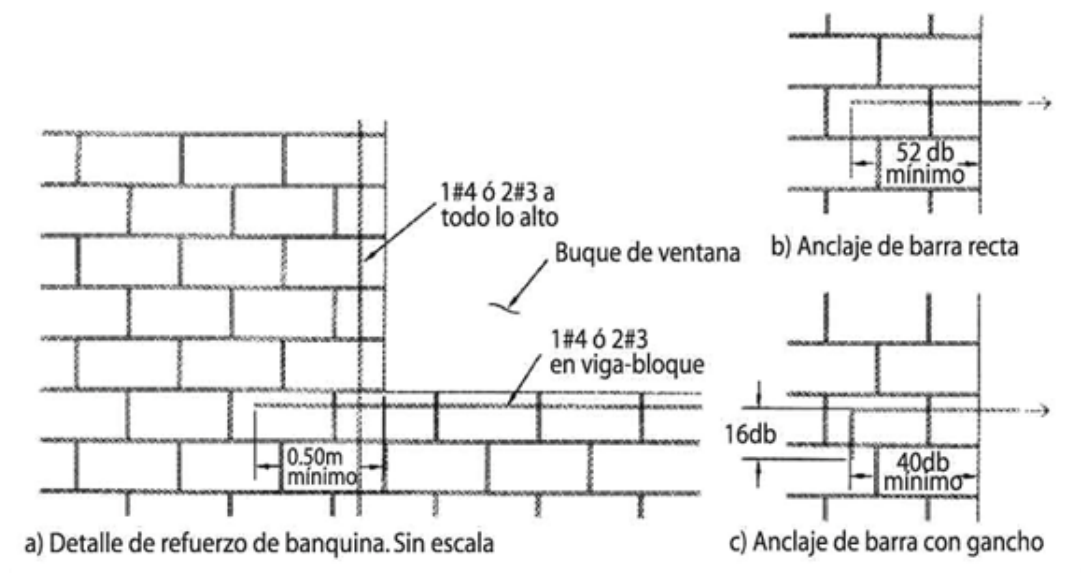


Figura 2.21: Detalle de las barras de refuerzo de una abertura de ventana (Bravo, 2007)

Como se aprecia en la Figura 2.21 las barras verticales en una abertura forman parte de las barras de refuerzo vertical de los muros en la medida que se extiendan a todo lo alto del piso y su detallamiento se debe hacer de acuerdo con lo indicado en el punto 2.1.2.

En algunos manuales de diseño (Schacher, 2006), se recomienda reforzar el borde inferior de la abertura de una ventana con una vigueta o 'banda' de hormigón armado reforzada con dos barras longitudinales horizontales (LB) de 10 mm de diámetro que terminan en un gancho en los extremos y trabas (TB) de 6 mm distanciadas cada 20 cm, refuerzos que se muestran en la Figura 2.22.

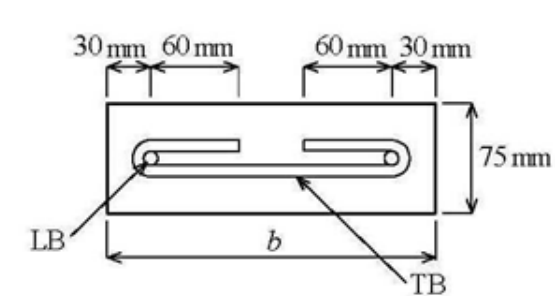


Figura 2.22: Sección transversal de una banda o vigueta de hormigón armado (Schacher, 2006)

Considerando que la vigueta o 'banda' se extiende sólo a lo ancho de la abertura, las barras de refuerzo longitudinal de ella se recomienda anclarlas con un gancho en 180° en torno de las barras de refuerzo vertical de la abertura como se muestra en la Figura 2.23.

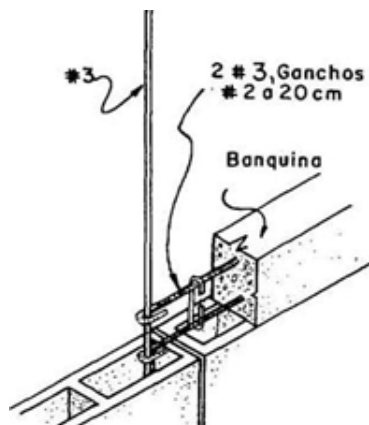


Figura 2.23: Detalle de anclaje barra de las barras longitudinales de la banda o vigueta (Moas, 1993).

En el caso de muros de albañilería confinada, los manuales de diseño en los cuales se propone este tipo de refuerzo, recomiendan extenderlo a todo lo largo del muro y del perímetro de la construcción. En este caso, el detallamiento de las armaduras longitudinales en los encuentros de las bandas se recomiendan que se ejecuten como se muestra en la Figura 2.24.

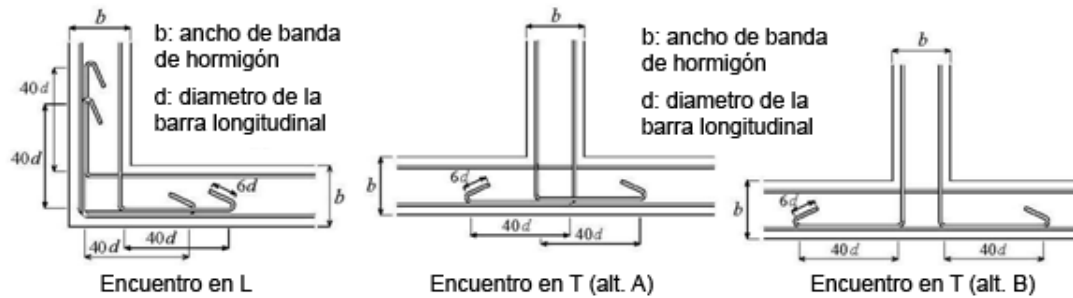


Figura 2.24: Detalle de la armadura de refuerzo longitudinal en el encuentro de bandas o viguetas de refuerzo (Schacher, 2006)

2.1.5. Vigas de refuerzo a nivel de los pisos

A nivel de los pisos de una construcción de albañilería armada es recomendable el uso de una viga dintel de H.A. que se ubique sobre todos los muros. El uso de una viga dintel era recomendada por la Especificación Técnica 2081(INN, 1981) para facilitar el anclaje de las barras verticales de refuerzo de un muro de A.A.

Para el detallamiento de este elemento de H.A. se deben usar las recomendaciones que para ese efecto entregan las normas de H.A., por ejemplo el ACI-318, y los manuales de detallamiento para elementos de hormigón armado (ICH, 2009). Con este propósito se debe tener en cuenta que el ancho de estas vigas es igual al espesor del muro, lo cual genera una condición que dificulta el detallamiento considerando que las barras de refuerzo deben tener un recubrimiento mínimo de hormigón en todos sus lados (ver Figura 2.25).

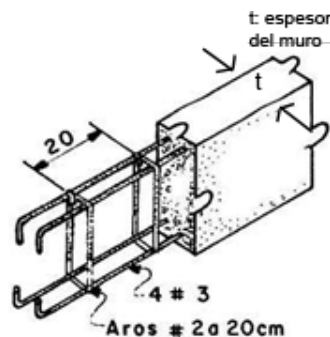


Figura 2.25: Armado de una viga de refuerzo a nivel de piso (Moas, 1993)

Si por alguna circunstancia se cortan las barras longitudinales de esta viga en la esquina, problema que debe evitarse, se deben agregar suples en forma de escuadra del mismo diámetro. El empalme de las armaduras longitudinales de esta viga dintel debe ser por traslape y no se debe ubicar próximo a puntos críticos como son los encuentros de muros.

2.1.6. Porcentaje de huecos y perforaciones de las unidades de albañilería

Un aspecto que ha mostrado ser crítico en el comportamiento observado en los muros de albañilería armada y confinada es el uso de unidades con un alto porcentaje de huecos y perforaciones cuando no se hace un relleno total de ellos.

La fragilidad de las unidades con altos porcentajes de huecos y el escaso relleno de huecos, ha significado la trituration de los paños de albañilería cuando las demandas de deformación son altas como ocurre durante un terremoto severo en construcciones con baja densidad de muros.

Para evitar este problema en los edificios de albañilería armada se recomienda el uso de relleno total de los huecos considerando que para esta modalidad de refuerzo se deben usar necesariamente unidades con un alto porcentaje de huecos como es el caso de los bloques de hormigón que se comercializan en Chile (Ver Figura 2.26).

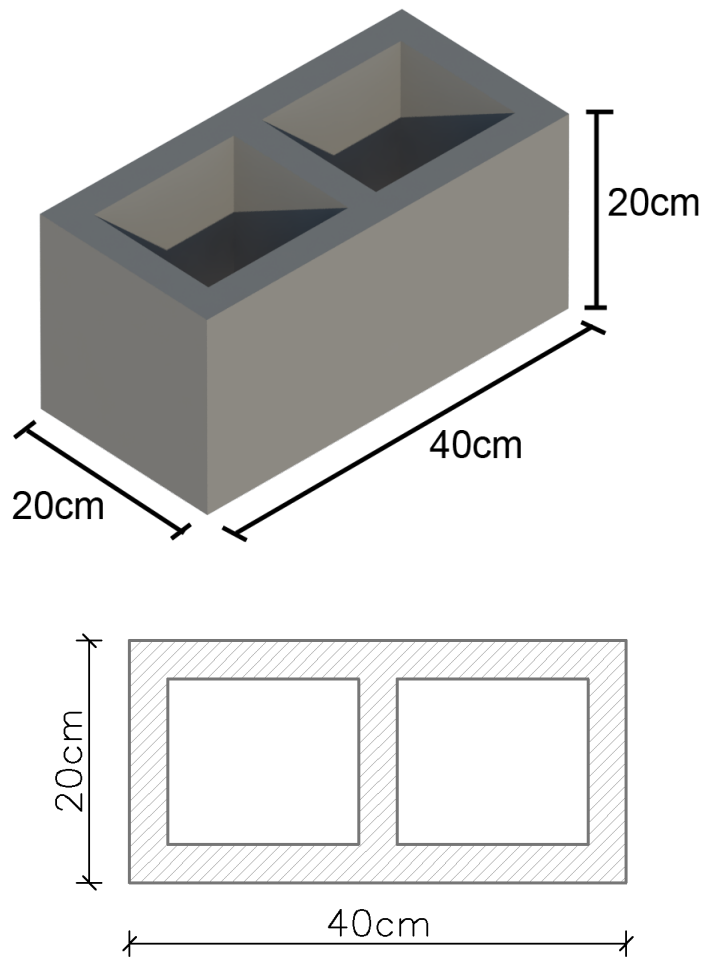


Figura 2.26: Muestra de bloques huecos de hormigón

En la medida que se usen unidades con un alto porcentaje de huecos (mayor que un 30%) y en los muros no se rellenen todos los huecos, se deben reducir las demandas de deformación durante un terremoto severo para lo cual se debe usar una mayor densidad de muros y así reducir la posibilidad de que las unidades se trituren. Con este propósito, se debe usar un valor menor del factor de modificación de la respuesta estructural que el que recomiendan las normas de diseño sísmico de edificios (INN, 1996).

2.1.7. Barras de refuerzo en el encuentro de muros

Para lograr un trabajo conjunto entre los muros y cuando las barras de refuerzo horizontal no tengan la capacidad para resistir el flujo de corte que demanda este trabajo conjunto, en el encuentro de muros se deben colocar barras de refuerzo horizontal adicionales que se amarren en las barras de refuerzo vertical como muestran en las Figuras 2.27 y 2.28.

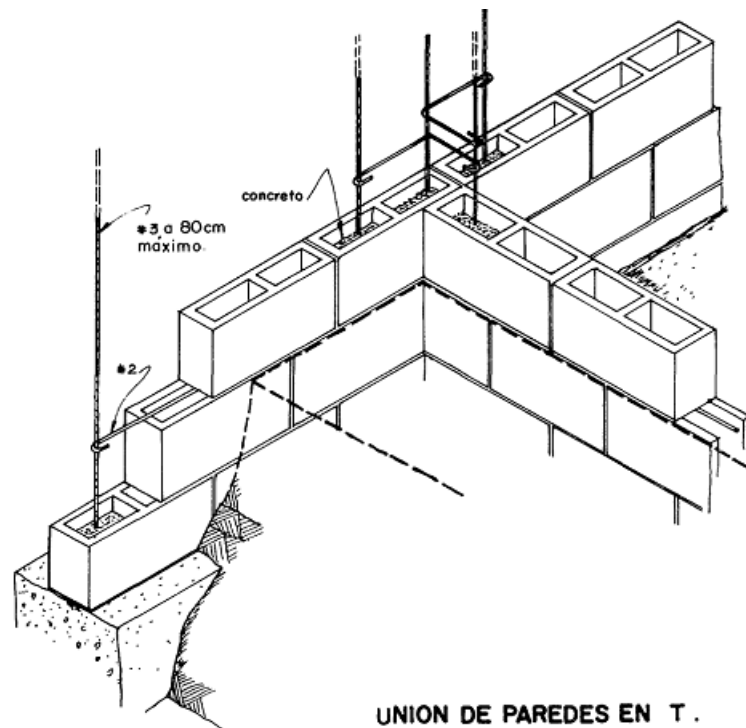


Figura 2.27: Detalle del suple de refuerzo horizontal en el encuentro de muros (Moas, 1993)

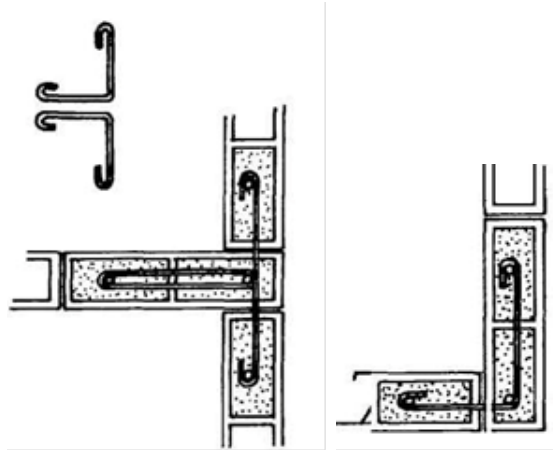


Figura 2.28: Detalle del supe de refuerzo horizontal en el encuentro de muros (Moas, 1993)

Otra forma de este refuerzo es con barras de refuerzo que no se amarran a los refuerzos verticales pero que si logran un buen trabajo en conjunto en el encuentro de muro. Este tipo de refuerzos se muestra en las Figuras 2.29 y 2.30.

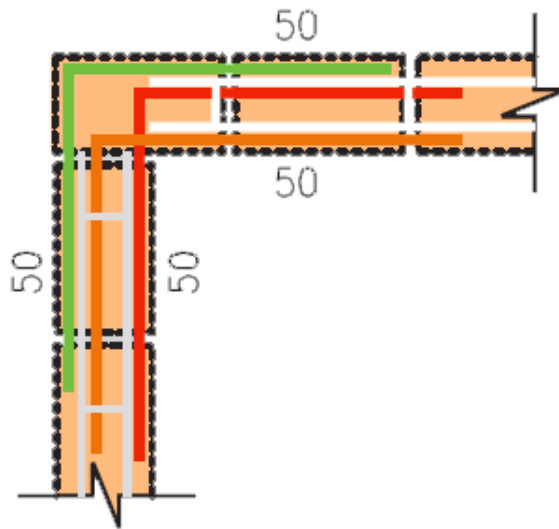


Figura 2.29: Detalle del supe en los extremos de las barras de refuerzo horizontal. Encuentro de muros en L (ACMA, 2011)

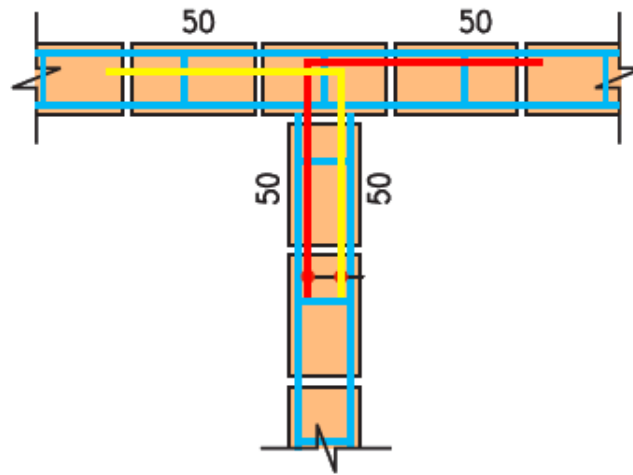


Figura 2.30: Detalle del suple en los extremos de las barras de refuerzo horizontal. Encuentro de muros en T (ACMA, 2011)

2.2. Muros de Albañilería Confinada

A nivel latinoamericano ésta es la modalidad de refuerzo más utilizada por lo cual los antecedentes sobre ella son mayores tanto en relación a recomendaciones sobre detallamiento del refuerzo como de daños observados por un mal detallamiento.

Los antecedentes reunidos se ordenan en detallamiento relacionados con el paño de albañilería y con los refuerzos de hormigón armado que confinan el paño de albañilería y con las eventuales barras de refuerzo horizontal que se puedan colocar en el interior del paño de albañilería.

2.2.1. Unión entre el paño de albañilería y los elementos de confinamiento

Por tradición, la terminación de los bordes verticales de los paños de albañilería se recomienda que sea endentada, ver Figura 2.31, para lograr una unión que garantice el trabajo conjunto entre los elementos de confinamiento y el paño de albañilería y así lograr que los elementos de confinamiento cumplan con la función de apoyo, ante acciones perpendiculares, y de confinamiento, ante acciones en el plano del paño de albañilería.



Figura 2.31: Endentado de un muro de albañilería confinada. Pilar intermedio (Kuroiwa, 2008)

Al usar esta solución se debe cuidar el largo del endentado que se utilice para evitar dificultades en la colocación del hormigón en el pilar de confinamiento y el daño de las unidades durante la misma. Sobre el particular, algunas normas y manuales de diseño Peruanos y Mexicanos (Kuroiwa, 2008) (Mexico, 2007) recomiendan un largo máximo del endentado (5 cm) junto con establecer el criterio para establecer de donde se mide el ancho del pilar y el recubrimiento de las barras de refuerzo longitudinal teniendo en cuenta la presencia del endentado, dimensiones que se destacan en la Figura 2.32 junto con el endentado.

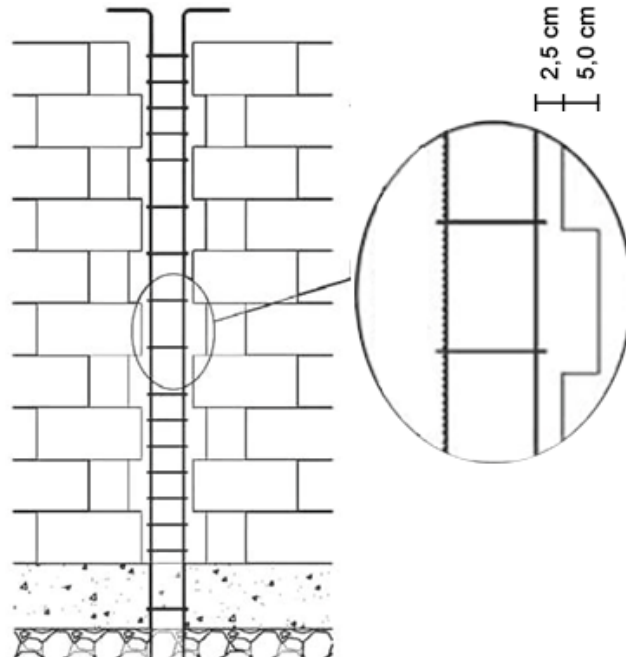


Figura 2.32: Terminación endentada del paño y criterio para determinar el ancho del pilar de confinamiento (Totten, 2010)

Con el propósito de no romper la modulación que imponen las unidades de albañilería de acuerdo al aparejo que se utiliza en los paños de albañilería, normalmente empalme a media unidad entre hiladas, en los últimos años se está recomendando la unión a ras pilar-paño de albañilería como una solución alternativa de la unión paño-pilar, reemplazando el endentado por insertos de acero que deben tener diámetro, forma y separación definida. A modo de ejemplo en la Figuras 2.33 y 2.34 se muestran algunas formas y separación recomendada para estos insertos.

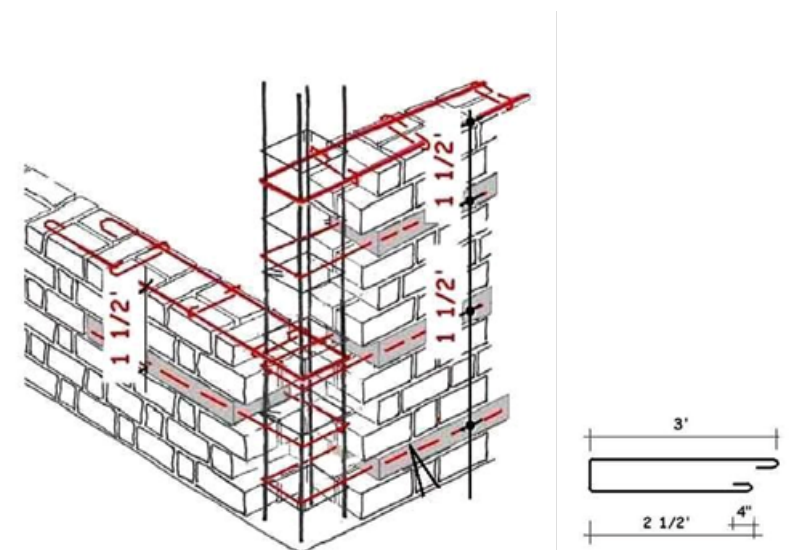


Figura 2.33: Unión a ras paño-pilar con insertos de acero (Schacher, 2006)

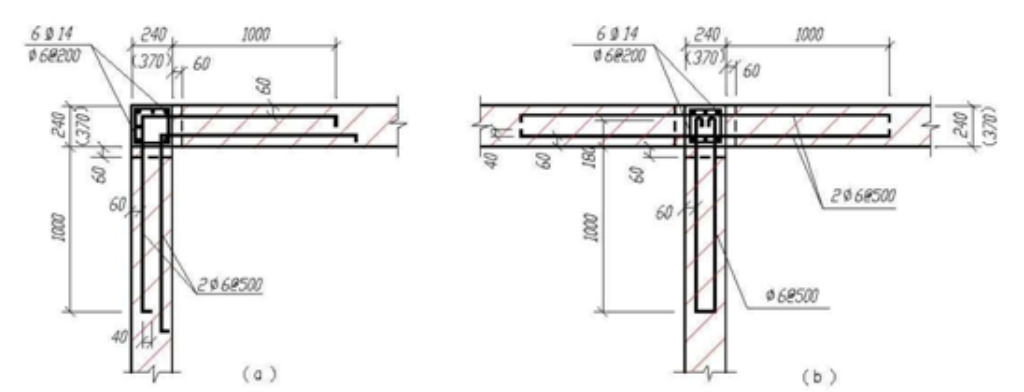


Figura 2.34: Unión a ras paño-pilar con insertos de acero (Liu, 2000)

Otra forma de lograr la unión del paño con los pilares de confinamiento es con la colocación de escalerillas como las mostradas en las Figuras 2.35 y 2.36.

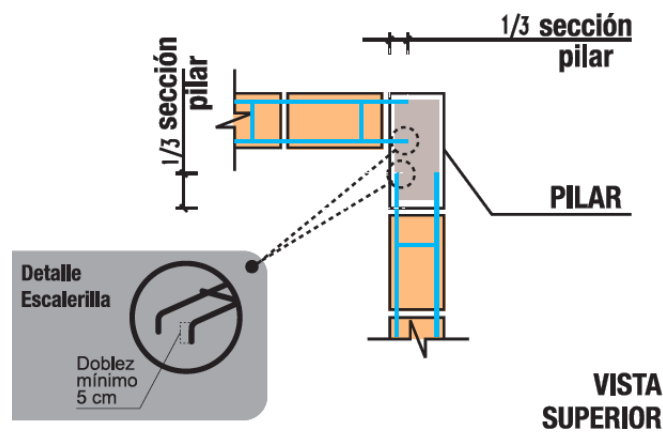


Figura 2.35: Unión paño-pilar con escalerillas (ACMA, 2011)

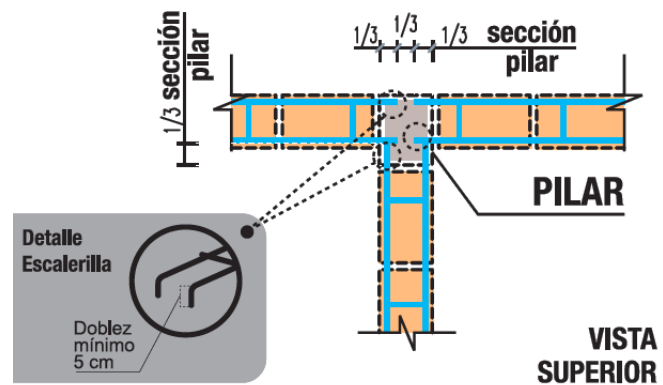


Figura 2.36: Unión paño-pilar con escalerillas (ACMA, 2011)

2.2.2. Refuerzo de aberturas de ventanas y de perforaciones del muro

La situación que representa la presencia de las aberturas de ventanas es un tema que las normas de diseño abordan teniendo en cuenta dos aspectos: (a) el porcentaje del área del paño que representa el área de la abertura, y (b) las demandas de corte que produce el sismo en los machones de albañilería que se forman en el paño de albañilería por la presencia de la abertura.

Aún cuando las normas de diseño establecen limitaciones relacionadas con aberturas, en la práctica se puede comprobar que deja mucho que desear la situación de muchos proyectos construidos (ver Figura 2.37).



Figura 2.37: Aberturas de ventanas no reforzadas en una construcción en ejecución (BuildChange, 2006)

Si son razones económicas las que conducen a no respetar las limitaciones relacionadas con el refuerzo de aberturas, por el costo adicional que representa la incorporación de pilares de confinamiento en los bordes verticales de la abertura de una ventana, es conveniente revisar en la etapa de proyecto la configuración del sistema estructural y desplazar la ubicación de las ventanas a los bordes del muro con lo cual se economiza un pilar (ver Figura 2.38).



Figura 2.38: Aberturas de ventanas desplazadas (BuildChange, 2006)

Un esquema de lo que significa reforzar una abertura de ventana cuya área representa un porcentaje importante del área del paño, se muestra en la Figura 2.39.

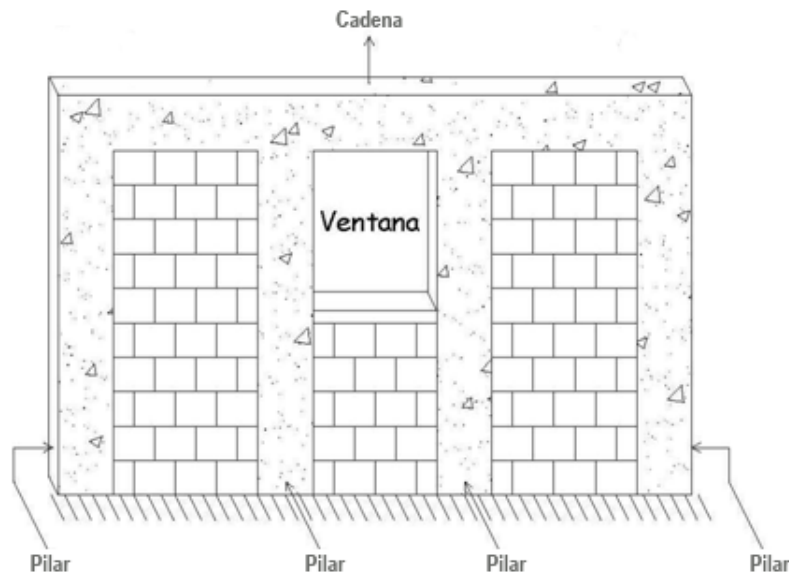


Figura 2.39: Esquema del reforzo de una abertura de ventana (Lafuente, 2007)

2.2.3. Refuerzo de aberturas de puertas

Las aberturas de puertas no se consideran como tales para efecto de su reforzo ya que su presencia genera un borde libre del paño de albañilería lo cual requiere necesariamente la presencia de un pilar para lograr confinamiento. Un esquema de lo que representa reforzar una abertura de puerta se muestra en la Figura 2.40.

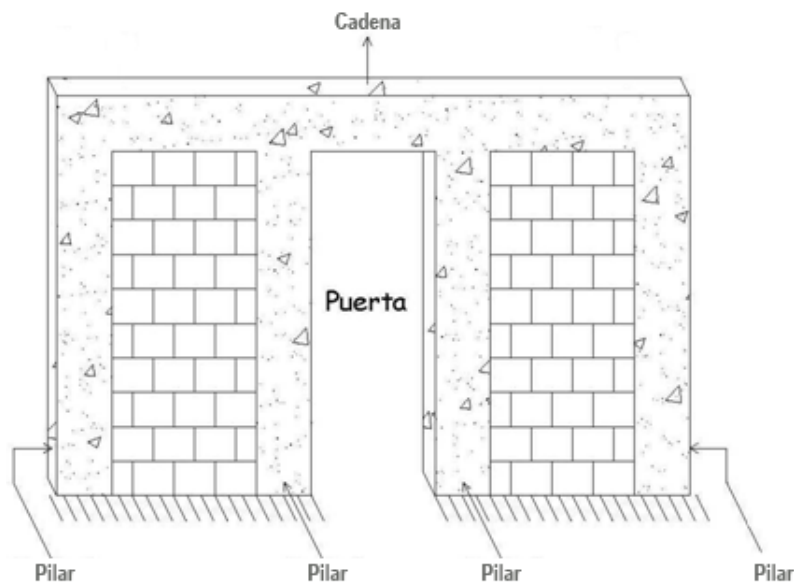


Figura 2.40: Esquema del refuerzo de una abertura de puerta (Lafuente, 2007)

2.2.4. Dimensión de los elementos de confinamiento

La dimensión de la sección transversal de los elementos de confinamiento es fundamental para lograr un buen detallamiento de las barras de refuerzo en los encuentros de las cadenas con los pilares y una buena colocación del hormigón en los elementos de confinamiento (evitar la formación de nidos de piedra).

Con elementos de confinamiento de dimensiones reducidas, por ejemplo una cadena de 15 x 20 cm y un pilar de 15 x 15, es muy difícil lograr un buen detallamiento de las barras longitudinales de los elementos de confinamiento en el encuentro de estos elementos y así lograr que las barras longitudinales queden bien ancladas y con el recubrimiento suficiente para protegerlas del intemperismo. A ello se debe agregar el problema de compactación del hormigón durante su colocación por la interferencia que producen los ganchos con los cuales se anclan las barras longitudinales.

Para reducir estos inconvenientes, las normas de diseño y los manuales de buena práctica recomiendan el uso de una dimensión mínima de los elementos de confinamiento la cual varía entre 20 cm y 25 cm (ver Figura 2.41), barras longitudinales con resaltes de diámetro reducido, por ejemplo 10 mm, y estribos de 6 mm de diámetro para facilitar su corte y doblado (ver Figura 2.42).

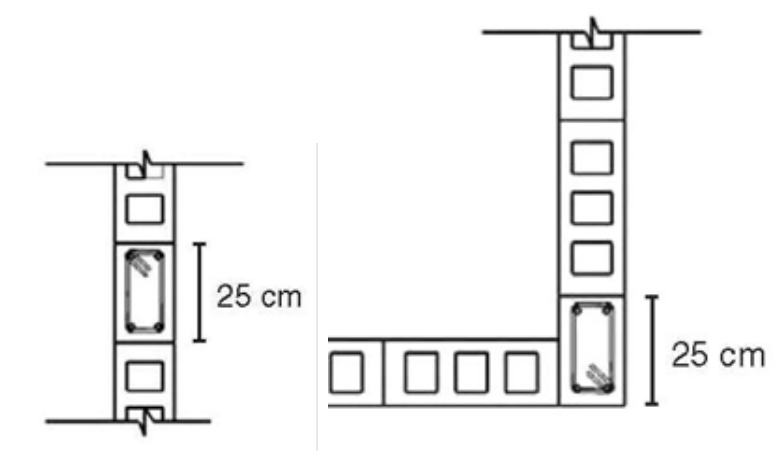


Figura 2.41: Dimensión mínima de un pilar (Totten, 2010)

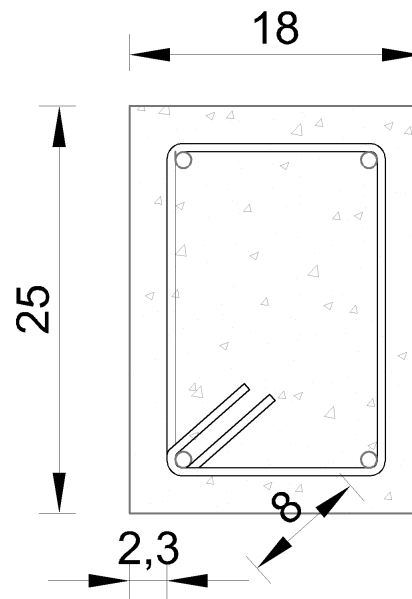


Figura 2.42: Detalle de las barras de refuerzo: recubrimiento, ganchos de estribos (Hausler, 2008).

2.2.5. Refuerzo en la zona del nudo pilar-cadena

En estas zonas se recomienda en algunos manuales que las barras longitudinales del pilar pasen por dentro de las barras longitudinales de la cadena y reforzar con estribos adicionales la zona del nudo como se muestra en la Figura 2.43. Esto permite que el pilar tenga mayor confinamiento para resistir las sollicitaciones sísmicas en el caso de que éstas existieran.

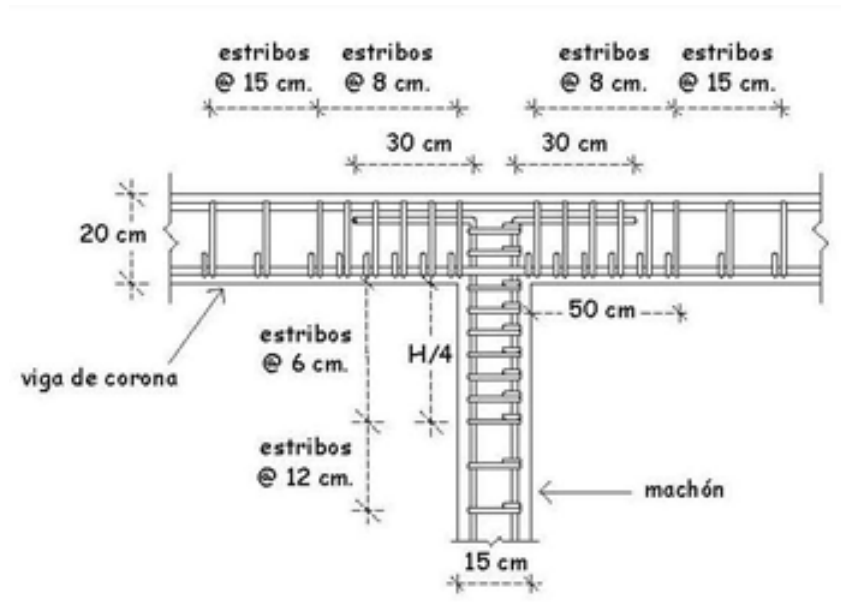


Figura 2.43: Detalle del refuerzo en la zona del nudo pilar-cadena (Lafuente, 2007)

2.2.6. Anclaje de las barras longitudinales en el encuentro de los muros en L

Generalmente, en estos casos las barras longitudinales se anclan con un doblé en 90 grados en el elemento al cual están llegando, ejemplos de este tipo de anclajes se muestran en las Figuras 2.44 a 2.50.

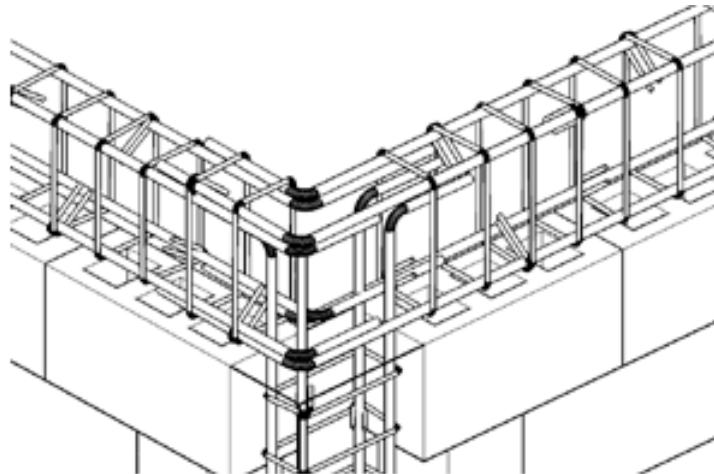


Figura 2.44: Detalle de las barras de refuerzo en un pilar de esquina, encuentro en L (Totten, 2010)

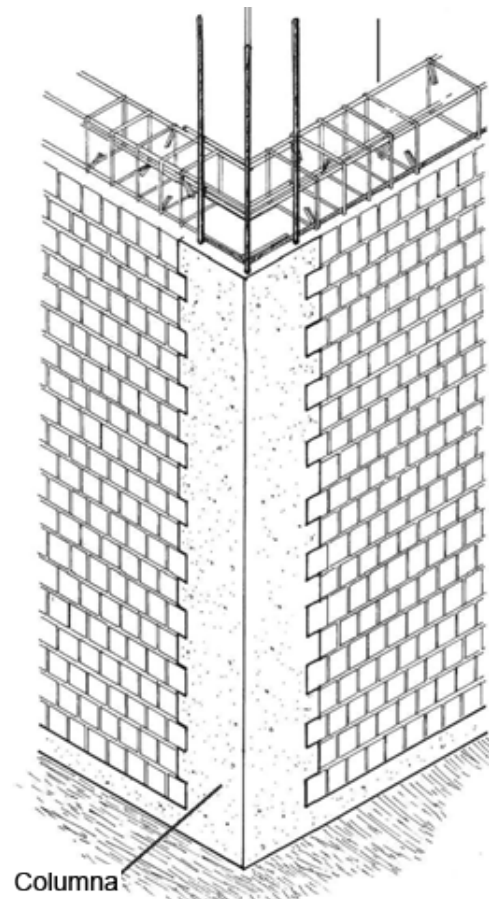


Figura 2.45: Detalle de las barras de refuerzo en un pilar de esquina, encuentro en L (Totten, 2010)



Figura 2.46: Detalle de las barras de refuerzo en el encuentro de un pilar de esquina y las cadenas de H.A (Ali, 2006)

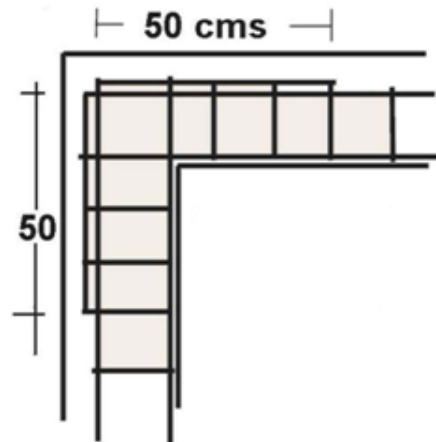


Figura 2.47: Detalle del anclaje de las barras longitudinales de las cadenas en el encuentro con un pilar de esquina, encuentro en L (SENA, 2003)

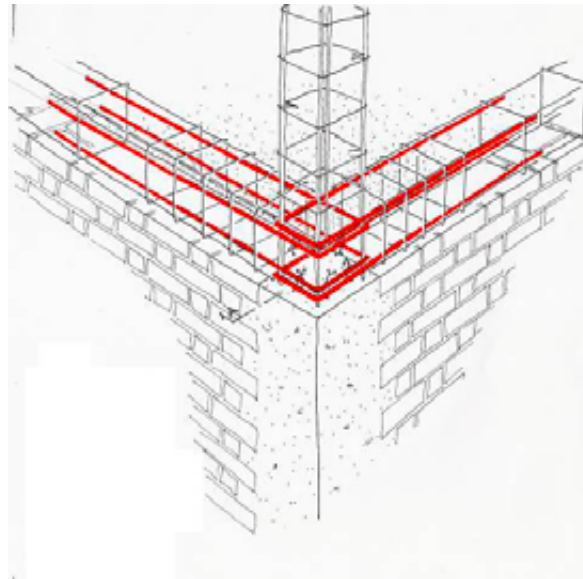


Figura 2.48: Detalle de las barras de refuerzo en el encuentro de muros en L (Schacher, 2006)

2.2.7. Anclaje de las barras longitudinales en el encuentro de los muros en T

El encuentro de muros obliga a la colocación de un pilar en la intersección de los muros, lo cual requiere atender el detallamiento de las barras de refuerzo de los elementos de confinamiento en estas situaciones.

La solución que se recomienda en este caso es similar a la del caso anterior con la diferencia que en este caso sólo es necesario anclar las barras longitudinales de refuerzo de la cadena que no continúan, ver Figuras 2.49, 2.50, 2.51, 2.52 y 2.43. Como se aprecia en estas figuras, se recomienda pasar las barras longitudinales del pilar por el interior y las barras longitudinales de las cadenas

que continúa por fuera, abrazándolas con los estribos, con el objetivo de dar mayor confinamiento al pilar de hormigón.

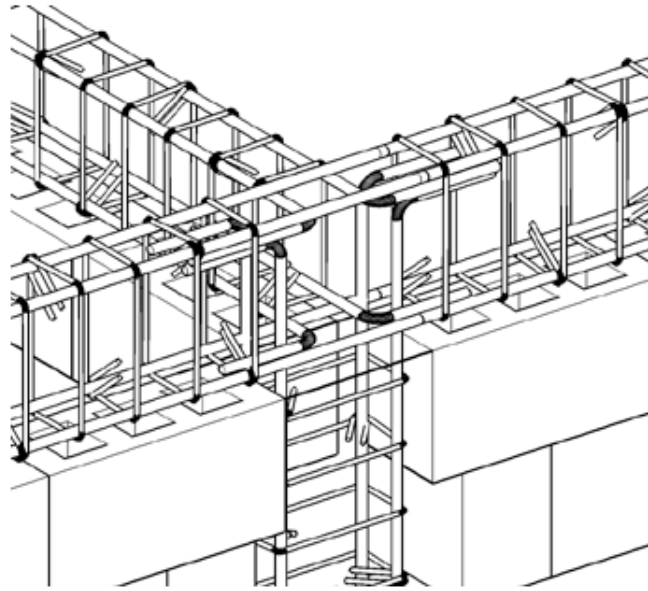


Figura 2.49: Detalle de las barras de refuerzo en el encuentro de muros en T (Totten, 2010)

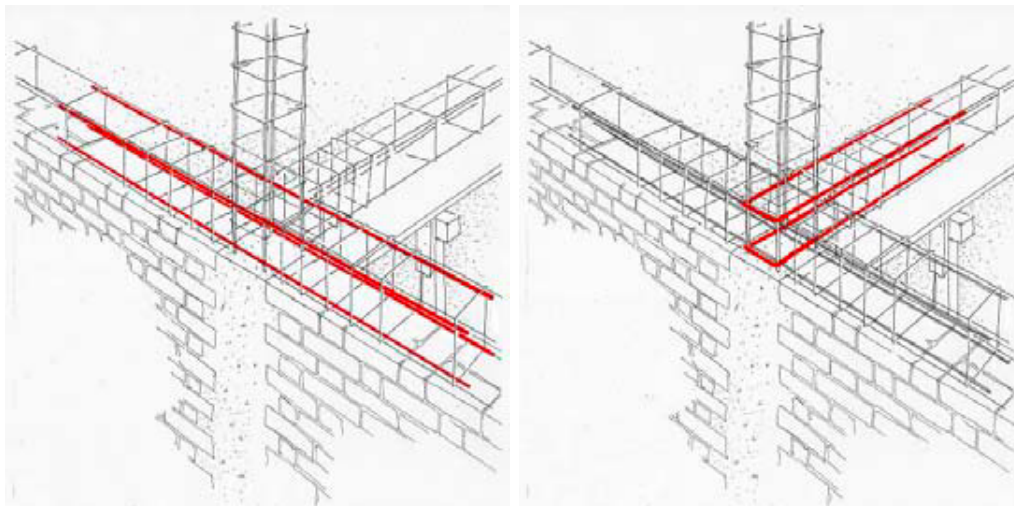


Figura 2.50: Detalle de las barras de refuerzo en el encuentro de muros en T (Schacher, 2006)



Figura 2.51: Detalle de las barras de refuerzo en el encuentro de muros en T (Ali, 2006)

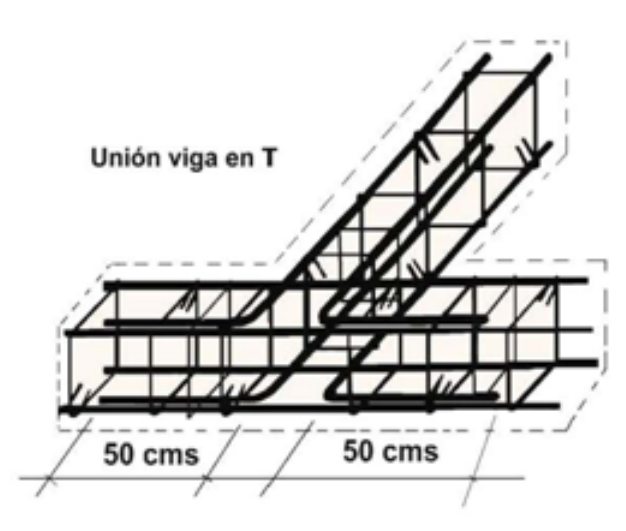


Figura 2.52: Detalle del anclaje de las barras longitudinales de las cadenas en el encuentro de muros en T (SENA, 2003)

2.2.8. Anclaje de las barras de refuerzo longitudinal de los pilares de confinamiento en la fundación

La armadura longitudinal de los pilares debe descansar al fondo de la fundación y anclarse con un gancho de un largo mínimo como se muestra en la Figura 2.53.

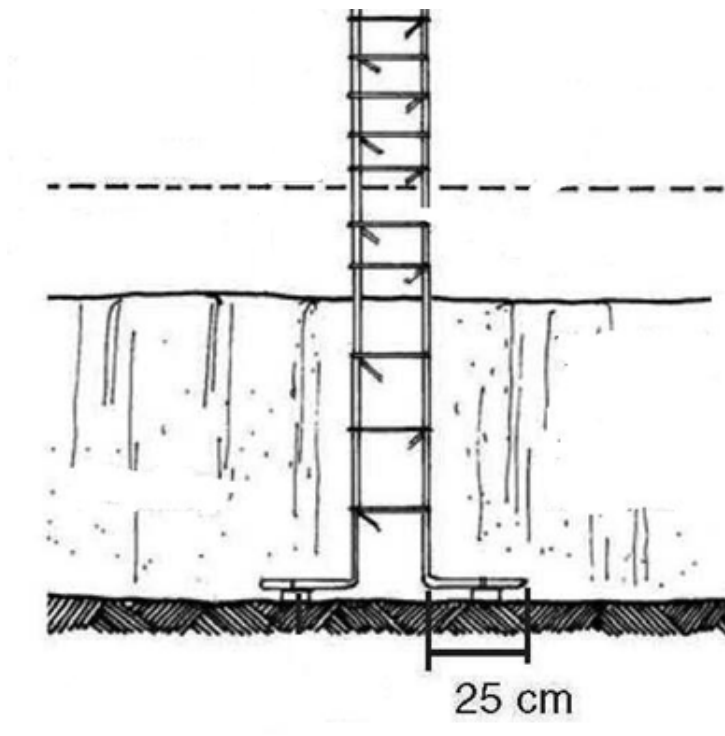


Figura 2.53: Anclaje de las barras longitudinales del los pilares en la fundación (Totten, 2010)

2.2.9. Anclaje de las barras de refuerzo longitudinal en un tímpano

Para prevenir el colapso del tímpano de una vivienda, las normas de diseño recomiendan rodear estos elementos con dos cadenas inclinadas y una horizontal en la medida que la pendiente de las cadenas inclinadas sea mayor que un determinado ángulo (30°). Además recomiendan extender los pilares intermedios de confinamiento del muro hasta alcanzar las cadenas inclinadas.

El uso de estos elementos de hormigón armado en los tímpanos de albañilería genera encuentros entre ellos cuyo detallamiento debe cuidarse para evitar el colapso de estos tímpanos por acciones sísmicas fuera de su plano.

Un ejemplo de estos detalles se muestra en la Figura 2.54, 2.55 y 2.56 para distintas ubicaciones de los pilares de confinamiento .

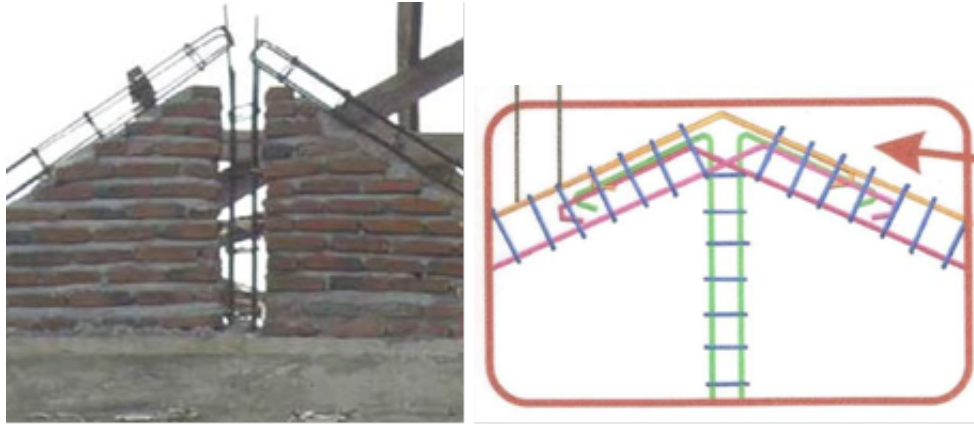


Figura 2.54: Detalle del refuerzo longitudinal en el encuentro de las cadenas inclinadas. Izq: Mala ejecución. Der: Buena ejecución (BuildChange, 2006)

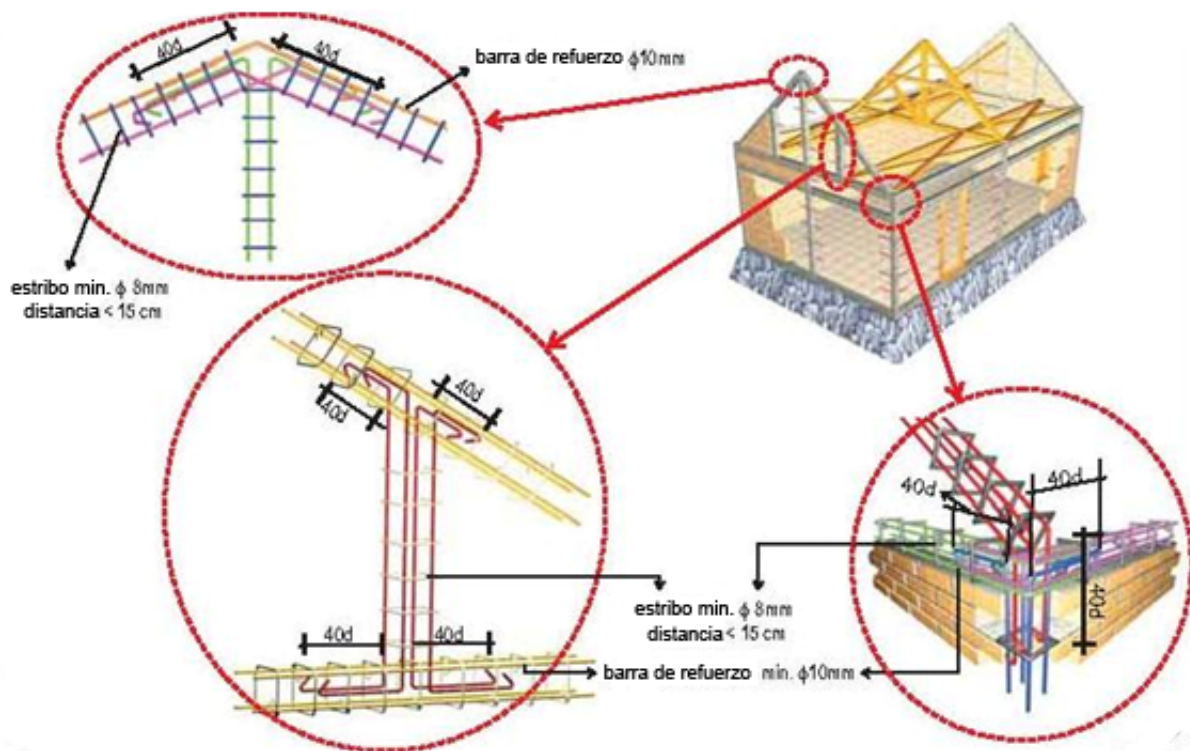


Figura 2.55: Detalle de las barras de refuerzo longitudinal en distintos sectores de los elementos de confinamiento de un tímpano (Boen, 2009)

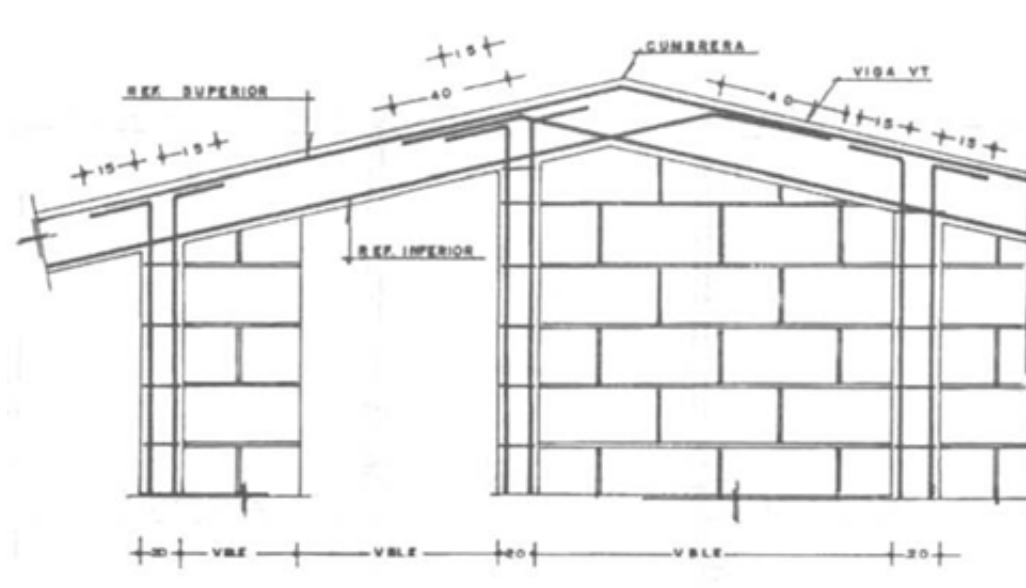


Figura 2.56: Detalle de las barras de refuerzo longitudinal en distintos sectores de los elementos de confinamiento de un tímpano (SENA, 2003)

El detalle más complejo de estos tímpanos se produce en el encuentro de las cadenas horizontales con las cadenas inclinadas, ver Figura 2.57.

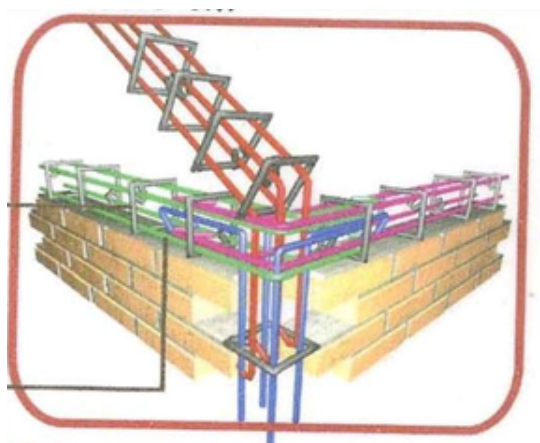


Figura 2.57: Detalle refuerzo longitudinal en el encuentro de las cadenas horizontales y la cadena inclinada del tímpano (BuildChange, 2006)

2.2.10. Separación de los estribos de refuerzo en las zonas críticas de los pilares

Las normas de diseño recomiendan reducir la separación de los estribos en los extremos de los pilares de confinamiento, ver Figuras 2.58 y 2.59, con el propósito de aumentar la resistencia al corte y el confinamiento del hormigón en dichas zonas. La norma NCh2123 también recomienda reducir la separación de los estribos en las zonas críticas a 10cm.

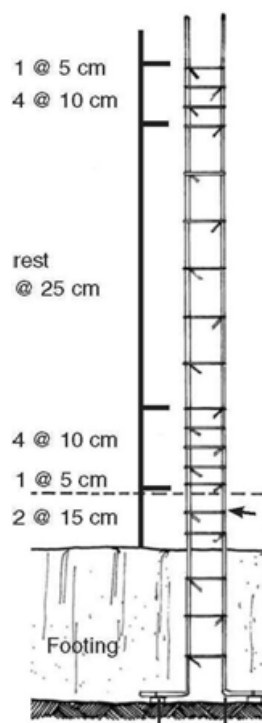


Figura 2.58: Estribos en las zonas críticas de un pilar (Totten, 2010)

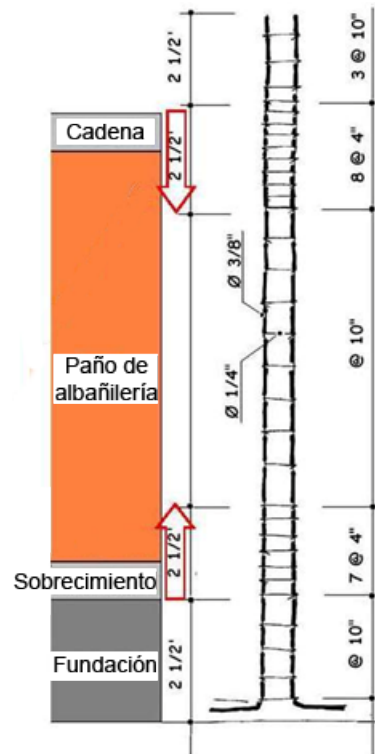


Figura 2.59: Estribos en las zonas críticas de un pilar (Schacher, 2006)

2.2.11. Separación entre los elementos de confinamiento

En la medida que el largo del paño a confinar supere el doble de su altura es conveniente incluir un pilar de confinamiento de modo de reducir la separación entre los pilares de confinamiento para mantener el efecto de confinamiento ante acciones en su plano y para lograr un trabajo biaxial ante acciones perpendiculares al plano del muro de modo de reducir el riesgo de vaciamiento del paño. Esta última situación también puede ocurrir cuando la esbeltez del muro, medida por la relación entre su altura y el espesor, es alta. En relación con este tema, las normas y manuales de diseño limitan la esbeltez máxima de los muros, recomendando que la relación altura/espesor del paño no supere un valor determinado, normalmente entre 15 y 25. Además limitan la separación máxima entre pilares y cadenas de modo de limitar las dimensiones máximas del área del paño a confinar a valores comprendidos entre $12.5 m^2$ y $20 m^2$. Estas dimensiones se muestran en las Figuras 2.60, 2.61, 2.62 y 2.63. La norma NCh2123 recomienda un largo máximo de 6m y un área de $12.5 m^2$.

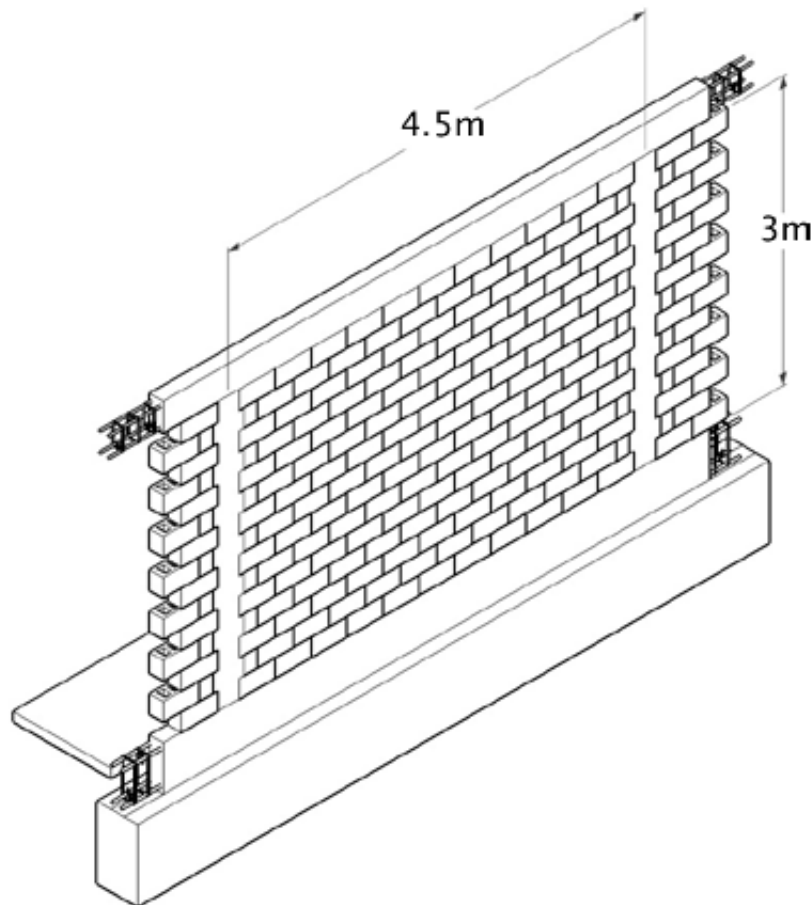


Figura 2.60: Separación máxima entre pilares y cadenas de confinamiento (Totten, 2010)

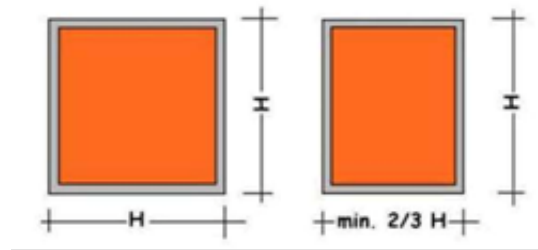


Figura 2.61: Separación máxima y mínima entre pilares (Schacher, 2006)

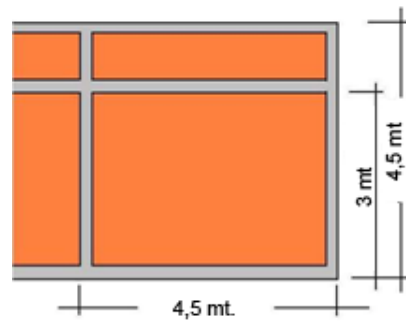


Figura 2.62: Separación máxima y mínima entre cadenas (Schacher, 2006)

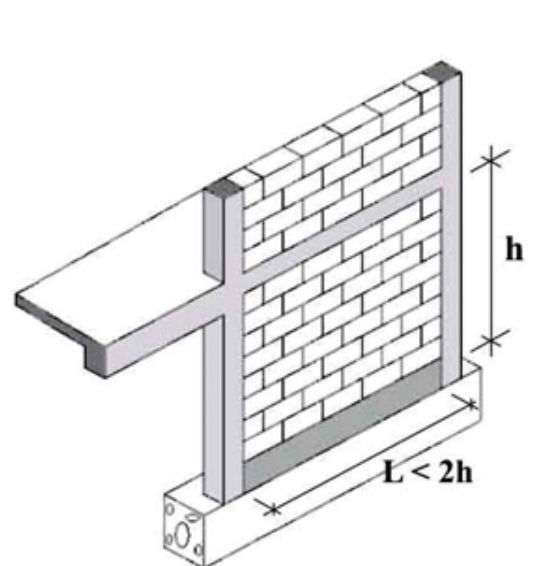


Figura 2.63: Separación máxima entre pilares (Kuroiwa, 2008)

2.2.12. Espesor de las juntas horizontal y vertical de mortero

El espesor de las juntas debe ser entre 10 mm y 20 mm lo cual dependerá de las irregularidades de la forma de la unidad producto del procedimiento de fabricación. De esta manera, cuando se usan unidades con mayor irregularidad de forma se deben usar espesores mayores de las juntas de mortero, mortero que debe extenderse en toda la cara de asiento disponible y llenando completa-

mente las juntas verticales.

Un ejemplo de lo mal ejecutada que puedan quedar las juntas de mortero se muestra en la Figura 2.64.



Figura 2.64: Junta de mortero gruesas y mal ejecutadas (Hausler, 2008)

Para lograr una mayor superficie de adhesión y cuando no hay necesidad de utilizar unidades con un alto porcentaje de huecos, se recomienda usar en la construcción de los paños de albañilería sólo unidades sólidas o perforadas con un porcentaje de huecos menor que un 30 %, ver Figura 2.65. Con el uso de unidades con estas características se evita la trituration de ellas.



(a)



(b)

Figura 2.65: (a) Unidades recomendables. Macizas o perforadas con porcentaje de huecos menor que 30 %.
(b) Unidades no recomendables. Huecos horizontales o paralelos a la cara de asiento (Schacher, 2006)

2.2.13. Forma de los ganchos de los estribos

Es importante que los ganchos queden en el interior del pilar para asegurar su anclaje ante la eventual pérdida del recubrimiento de hormigón para lo cual requiere el uso de ganchos en 135° , como se muestra en la Figura 2.66,.

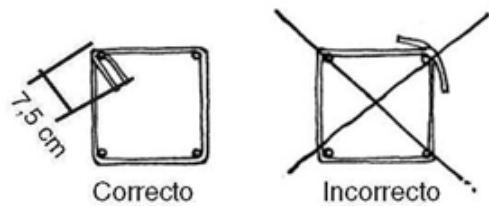


Figura 2.66: Detalle ganchos de un estribo (Totten, 2010)

Además para evitar interferencias en la colocación del hormigón es conveniente alternar la ubicación de los ganchos a lo alto del pilar como se indica en la Figura 2.67 y 2.68.

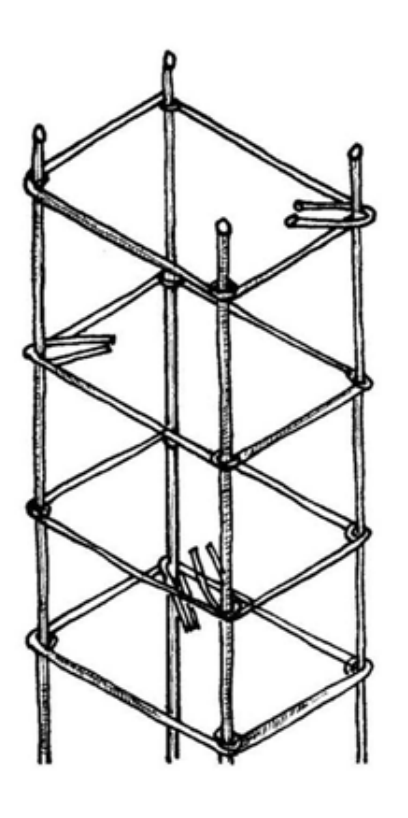


Figura 2.67: Alternancia en la colocación de los ganchos de los estribos (Totten, 2010)



Figura 2.68: Alternancia en la colocación de los ganchos de los estribos en obra

2.2.14. Refuerzo con barras horizontales en los paños de albañilería

En los últimos años se ha incentivado el uso de barras horizontales distribuidas en el interior del paño de albañilería con el propósito de aumentar la resistencia al corte en el plano del muro y a la flexión fuera del plano del muro, y además para aumentar la capacidad de deformación del muro ante acciones contenidas en su plano sin necesidad de aumentar el ancho de los pilares de confinamiento más allá del mínimo recomendado por las normas de diseño, por ejemplo 20 cm según NCh2123.

Del mismo modo que en un muro de albañilería armada estas barras se colocan en las juntas horizontales de mortero como se muestra en la Figura 2.69.



Figura 2.69: Refuerzo horizontal ubicado en la junta de mortero (BuildChange, 2006)

El detallamiento de estas armaduras está sujeto a las mismas condiciones que se establecen en los muros de A.A.. Entre ellos se pueden destacar la separación entre ellas no debe superar un determinado número de hiladas (ver Figura 2.70), el anclaje de los extremos de las barras de refuerzo debe hacerse en los pilares de confinamiento (ver Figura 2.70) y el refuerzo debe quedar embebido en el mortero de las juntas horizontales de mortero.

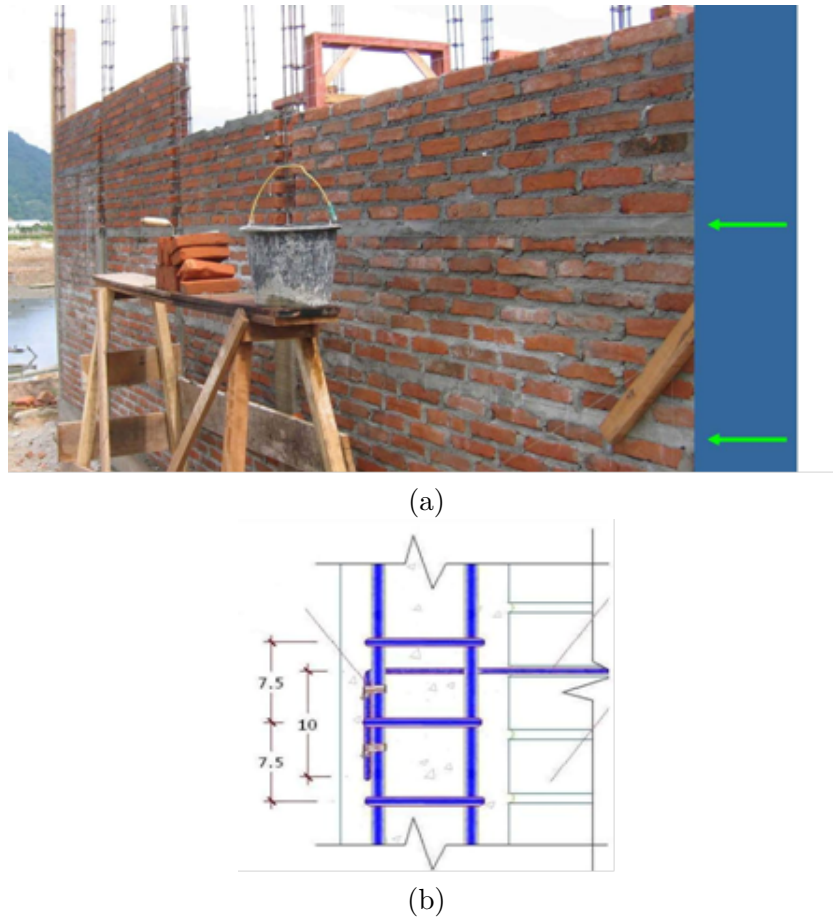


Figura 2.70: (a) Distribución de refuerzo horizontal a lo alto del paño de albañilería. (b) Anclaje en pilar de confinamiento (BuildChange, 2006)

2.2.15. Recrecido de la unión pilar-cadena en los vértices de los paños de albañilería

Para mejorar el detallamiento de las barras de refuerzo longitudinal en la unión cadena-pilar se puede usar la solución mostrada en la Figura 2.71 de modo de evitar la congestión de armaduras. Además este detalle reduce los daños en los vértices del paño de albañilería debido a la fuerza de compresión diagonal que se produce por la interacción entre el paño y los elementos de confinamiento.

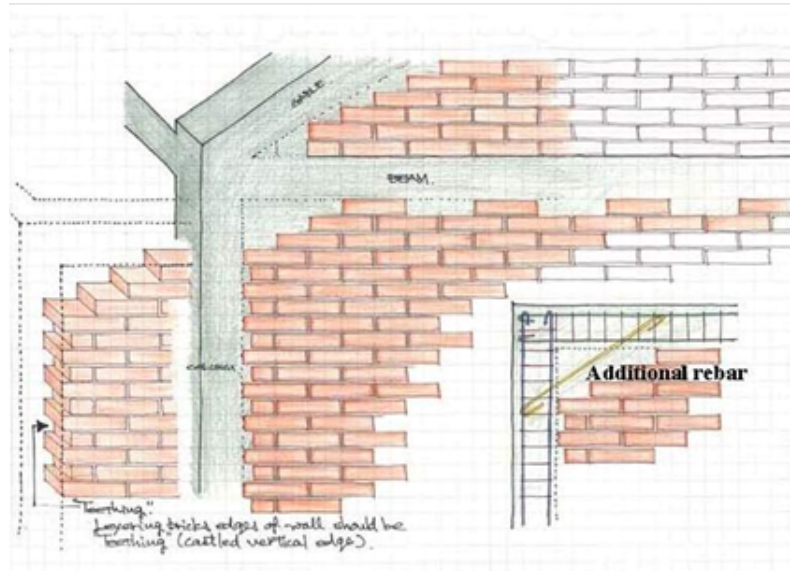


Figura 2.71: Recreido de la unión pilar-cadena (Narafu, 2008)

Detalles de las barras en estas zonas se muestran en la Figura 2.72 y 2.73.

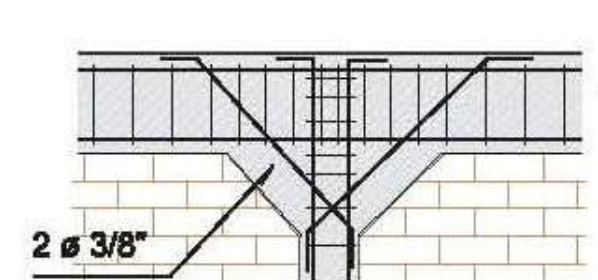


Figura 2.72: Recreido de la unión pilar-cadena (Kuroiwa, 2008)

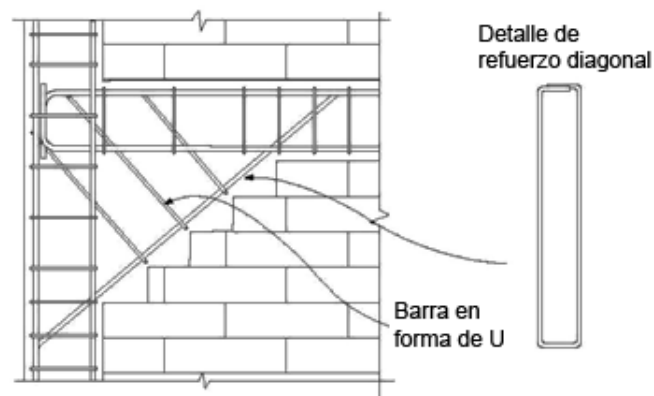


Figura 2.73: Recreido de la unión pilar-cadena (Crisafulli *et al.*, 2000)

Capítulo 3

Daños sísmicos debido a un mal detallamiento de los refuerzos de los muros de albañilería estructural

El daño sufrido por la estructura de los edificios de albañilería de uso habitacional ha sido la principal causa de pérdidas económicas y de damnificados en el área afectada por un terremoto cuando se trata de edificios construidos por o para la población de bajos ingresos. Desde el punto de vista económico, esta situación se produce por el reducido impacto que tienen en estos edificios los llamados "elementos no-estructurales", debido a la sencillez de sus terminaciones y al escaso equipamiento con que ellos cuentan.

La cuantificación del daño en las viviendas de albañilería es conveniente hacerla separándolas en aquellos construidos con y sin la participación de profesionales calificados, debido a que estos últimos no respetan norma alguna y son mas bien de autoconstrucción.

Por su concepción, las causas de los daños observados en los edificios construidos sin la participación de profesionales son muchas, partiendo por la elección del lugar donde se construye, y por ello son difíciles de solucionar para mitigar los efectos de los terremotos en ellos. Hasta ahora la solución se ha buscado a través de la elaboración de Manuales de Construcción cuyo impacto dependerá de su difusión y de la capacitación que se realice de los destinatarios de estos documentos técnicos.

Por otro lado, se ha podido comprobar que los daños en los edificios de albañilería que cuentan con la participación de profesionales se han ido reduciendo con el correr del tiempo gracias a la redacción de normas de diseño y cálculo, documentos que establecen disposiciones y limitaciones de diseño a partir de los resultados y conclusiones obtenidos en estudios experimentales y teóricos, tanto desde el punto de vista de la acción sísmica como de los materiales y de los refuerzos usados

en su construcción.

La situación observada en los edificios de albañilería con diseño sísmico ubicados dentro del área de daños del terremoto del 27 de febrero de 2010, permite concluir que las disposiciones y limitaciones que establecen las normas chilenas vigentes (NCh433, NCh2123 y NCh1928) son adecuadas y sólo deben respetarse para tener un buen resultado. Sin perjuicio de lo anterior, la inspección de los daños de este megaterremoto y de otros que han ocurrido en otros países, ha permitido concluir que el tema del detallamiento de los refuerzos es una materia pendiente y es necesario mejorarlo introduciendo algunas modificaciones y precisiones en las normas de diseño y cálculo, y desarrollando manuales de buenas prácticas tal cual se ha hecho para edificios de hormigón armado (ICH, 2009).

En lo que respecta a las construcciones de albañilería de uso habitacional con diseño sísmico, el terremoto del 27 de febrero ha permitido comprobar que la situación observada ha mejorado mucho si se compara con el comportamiento observado en el terremoto del 3 de marzo de 1985, lo que se debe principalmente al uso de las normas de diseño y cálculo redactadas y aprobadas por la comunidad profesional nacional después del terremoto del 3 de marzo de 1985.

Teniendo en cuenta este diagnóstico y reconociendo que en Chile se construyen mayoritariamente edificios de albañilería estructural reforzados con las dos modalidades de refuerzo más tradicionales, albañilería armada y albañilería confinada, cuyas características se establecen en las normas NCh2123 y NCh1928, este capítulo se concentra en presentar los daños sísmicos que han presentado estas albañilerías por efecto de un mal detallamiento. Para ello se usa la información reunida del terremoto del 27 de febrero de 2010 y la de otros terremotos ocurridos en los últimos 25 años tanto en Chile como en el resto del mundo.

Esta presentación se hace en forma separada para cada modalidad de refuerzo, destacando aquellos detalles que comprometen la estabilidad local o global del edificio, destacando los elementos estructurales involucrados y el tipo de detalle cuestionado. Los detalles que son comunes a estas dos modalidades de refuerzo se incluyen sólo una vez.

3.1. Efecto del detallamiento de los refuerzos en el daño observado en los muros

El daño observado durante los terremotos, permite reconocer que un mal detallamiento de los refuerzos de un elemento estructural reduce severamente sus capacidades, lo que se traduce en un comportamiento frágil una vez que se produce el agrietamiento de la albañilería, comportamiento no deseado y que se caracteriza por la reducida capacidad de deformación y disipación de energía.

En forma semejante a lo que ocurre en los muros de un edificio de Hormigón Armado, los daños por un mal detallamiento de las barras de refuerzo distribuidas en el interior del paño de albañilería de los muros de albañilería armada, se relacionan con:

- a. El empalme y anclaje de la barra de acero de refuerzo vertical y horizontal.
- b. El diámetro de las barras que se ubican en el interior de los huecos y en las juntas horizontales de mortero.
- c. El pandeo de las barras verticales ubicadas en las cabezas comprimidas de los muros.
- d. La distribución de las barras en el interior del paño.
- e. El refuerzo de las aberturas de ventanas y de las perforaciones del muro.
- f. Espesor de las juntas de mortero.
- g. El detallamiento de las barras de refuerzo en el encuentro de muros.

En el caso de los edificios de albañilería confinada tradicional, construidos sin barras de refuerzo distribuida en el interior del paño de albañilería, los daños por el detallamiento de los elementos de confinamiento (pilares y cadenas) y del paño de albañilería, se relacionan con:

- a. La unión entre el paño de albañilería y los elementos de confinamiento.
- b. El refuerzo de las aberturas de ventanas y perforaciones del muro.
- c. El refuerzo de los bordes libres de las aberturas de puertas.
- d. La dimensión de los elementos de confinamiento.
- e. El refuerzo del nudo en el encuentro del pilar y de la cadena.
- f. El empalme y anclaje de las barras de refuerzo longitudinal de los elementos de confinamiento.
- g. La separación de los estribos de refuerzo en las zonas críticas de los pilares.
- h. La separación entre los elementos de confinamiento.
- i. El espesor de las juntas de mortero.
- j. La forma de los ganchos de los estribos.

En términos generales, debe tenerse en cuenta que el daño debido a un mal detallamiento de los refuerzos se manifiesta una vez que se agrieta el paño de albañilería. Este mal detallamiento se produce principalmente por dos causas:

- (a) La escasa atención por parte de los profesionales que participan en las distintas etapas de un proyecto (diseño, cálculo y construcción), y

- (b) Las restricciones que presentan los paños de albañilería y los elementos de confinamiento para reforzarlo debido a la reducida dimensión de los huecos disponibles para colocar las armaduras de refuerzo y a la reducida dimensión de los elementos de confinamiento.

Teniendo en cuenta el momento en que se manifiestan las consecuencias de un mal detallamiento, sus efectos se producen en situaciones extremas (por ejemplo: un terremoto), es decir en el momento menos oportuno y deseado y sus consecuencias pueden ser catastróficas si contribuyen al colapso parcial o total de un edificio como se ha observado en los terremotos pasados. Debido a lo anterior, pueden pasar muchos años de construido un edificio sin que este tipo de debilidad se manifieste. En condiciones extremas, una vez que se agrieta el paño de albañilería se produce una transferencia de la totalidad o de gran parte de la carga que produjo el agrietamiento del paño de albañilería a los refuerzos, debiéndose contar con una cantidad, distribución y detallamiento de ellos para evitar que se produzca el comportamiento frágil destacado.

En relación con el daño de los elementos que no forman parte de la estructura resistente de un edificio de albañilería, como pueden ser: tabiques divisorios, chimeneas, corta-fuegos, tímpanos y antepechos, se puede destacar que ellos han presentado daños importante durante los terremotos, aún de magnitud más baja ($M=7.0$), debido a la falta de refuerzo y la inadecuada unión con los muros de la estructura resistente producto de una falta de diseño y de un detallamiento. Los daños de estos elementos están fuera del alcance de esta memoria de título.

3.2. Daños por detallamiento en muros de albañilería armada

En esta modalidad de refuerzo, el refuerzo corresponde a las barras de acero que se colocan en las juntas horizontales de mortero y en el interior de los huecos verticales y huecos horizontales que para este efecto tienen las unidades de albañilería (bloques huecos) con las que se construyen los paños de albañilería.

Experimentalmente se ha comprobado que el comportamiento de estos muros ante acciones sísmicas está controlado por la cantidad y la distribución de las barras de refuerzo, las cuales deben tener un buen detallamiento para lograr capacidad resistente y capacidad de deformación una vez alcanzada la capacidad resistente, sin que esta última se degrade.

Los aspectos del detallamiento que deben atenderse en los muros de este tipo de albañilería se han destacado en el punto 3.1 y de acuerdo con a ellos se organiza la muestra de ejemplos de mal detallamiento.

3.2.1. Empalme y anclaje de las barras de acero de refuerzo vertical y horizontal

Los errores en el empalme y el anclaje de las barras de acero impiden que ellas desarrollen su capacidad resistente, definida nominalmente por la fluencia del acero, y por lo mismo se ve dismi-

nuida la capacidad resistente del muro, tanto en flexión como en corte, y el comportamiento del muro queda controlado por una falla del tipo frágil, facilitando la aparición de daños más severos y muchas veces difíciles de reparar por concentrarse en un sector reducido del muro.

Este tipo de daño se produce por el uso de longitudes de desarrollo insuficiente desde el punto de vista de las variables que están en juego y las cuales quedan identificadas al revisar los términos de las ecuaciones que se recomiendan para establecer el largo de desarrollo de una barra (Nilson *et al.* , 1999).

Un ejemplo de daño por mal detallamiento de empalmes puede verse en la figura 3.1.



Figura 3.1: Falla en el empalme por traslape de las barras de refuerzo horizontal (Astroza, 2010)

3.2.2. Diámetro de las barras que se ubican en el interior de los huecos y en las juntas horizontales de mortero

El uso de barras de diámetros muy grandes en el interior de huecos con dimensiones reducida obstaculiza el llenado de los huecos afectando la durabilidad de las armaduras (corrosión por falta de protección o recubrimiento del hormigón de relleno) y la adherencia entre la armadura y el hormigón de relleno presentándose la falla en los empalmes de las barras, con las consecuencias destacadas en 3.2.1.

Este tipo de daño puede verse en la figura 3.2



Figura 3.2: Diámetro excesivo de la barra de refuerzo vertical (Astroza, 1985)

3.2.3. Pandeo de las armaduras verticales ubicadas en las cabezas comprimidas de los muros

Por la dificultad de colocar barras horizontales a cualquier distancia, quedando restringida esta separación al escantillón de la albañilería, en la medida que se utilicen unidades de albañilería altas (altura mayor que 11 cm) y cuantía mínima de armaduras, la longitud de pandeo de las armaduras verticales ubicadas en las cabezas de compresión de los muros es superior a 10 veces su diámetro. Esta situación, unida al daño que puede experimentar la albañilería en la cabeza de compresión por falta de confinamiento, produce el pandeo de las barras como se pudo observar en los muros de H. A. durante el terremoto del 27 de febrero del 2010 (Kato, 2010).

Este tipo de daño puede observarse en las figuras 3.3 y 3.4.



Figura 3.3: Falla por pandeo de barra de refuerzo vertical (Astroza, 2010)



Figura 3.4: Falla por pandeo de barra de refuerzo vertical (Astroza, 1985)

3.2.4. Distribución de las barras de refuerzo en el interior del paño

La ubicación y la separación de las barras en el interior del paño es fundamental para controlar el nivel de daños en el paño de albañilería. En la medida que las armaduras estén más distanciadas, el agrietamiento se concentra en un número reducido de grietas, produciéndose grietas de gran espesor, daños importantes por trituración de las unidades huecas y perforadas a lo largo de las grietas y desprendimiento de sectores del muro en la zona donde se cruzan las grietas diagonales.

Este tipo de daño se observa frecuentemente en los muros de albañilería armada construidos con unidades con altos porcentajes de hueco y con relleno parcial de los huecos. Un ejemplo se muestra en la figura 3.5.



Figura 3.5: Daño en un muro con barras de refuerzo mal distribuidas en el interior del paño de albañilería (Astroza, 2010)

Otro ejemplo de un mal detalle de las barras de refuerzo en el interior del paño en muros de albañilería armada es el que se observó en el terremoto del 3 de marzo de 1985 (ver figura 3.6), en el cual la ausencia de estos refuerzos produjo la trituración de las unidades de albañilería cuando los huecos no se rellenan en su totalidad.



Figura 3.6: Daño en un muro sin barras de refuerzo horizontal en el paño de albañilería (Astroza, 1985)

3.2.5. Refuerzo de aberturas de ventanas y de perforaciones del muro

El tema del refuerzo de las aberturas de ventanas es fundamental para enfrentar el agrietamiento precoz del paño por efecto de la concentración de tensiones que produce la presencia de perforaciones. La falta de barras de refuerzo se manifiesta sin mediar grandes solicitaciones, produciéndose grietas en los vértices de las aberturas y por un patrón de agrietamiento severo bajo los machones de albañilería (muros ubicados a cada lado de la abertura) cuando la armadura horizontal se distribuye privilegiando su presencia en los machones.

Desde este punto de vista es recomendable distribuir las barras de refuerzo horizontal a todo lo alto y a todo lo largo del muro. Un ejemplo de este daño puede verse en la figura 3.7.

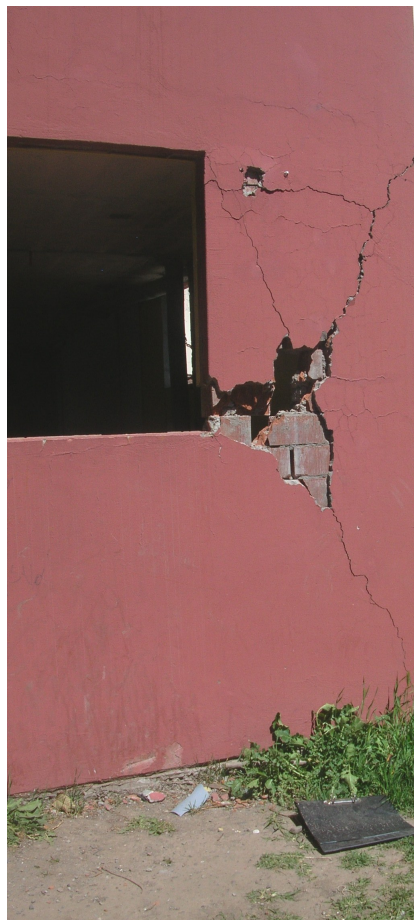


Figura 3.7: Daño en torno de una abertura por falta de refuerzo horizontal (Astroza, 2010)

3.2.6. Espesor de las juntas horizontal y vertical de mortero

El espesor de las juntas debe analizarse desde dos puntos de vista: (a) considerando la situación de un espesor reducido, menor que 10 mm, lo que dificulta el uso de barras horizontales ubicadas en ellas debido a la mala adherencia que se logra entre la barra y el mortero que la rodea; (b) en el caso de usar juntas muy gruesas, 25mm o más, el problema se presenta por la disminución de la capacidad resistente de la albañilería, la que precipita la ocurrencia del agrietamiento del muro por fallas de tracción o adherencia en el paño de albañilería.

3.2.7. Refuerzo en el encuentro de muros

Los daños en el encuentro de muros debido a un mal detallamiento de las barras de refuerzo en esta zona son bastante frecuente y pueden ocasionar pérdida de la integridad global del edificio debido a la pérdida de los vínculos entre los muros. Esta pérdida de vínculos es la razón principal del colapso de edificios de albañilería sin refuerzos, y en particular de los edificios de adobe tradicionales.

El daño que se produce en esta zona corresponde a la aparición de una grieta vertical en el

encuentro de muros ortogonales producto de las solicitaciones de las cargas que actúan perpendicularmente al plano de los muros y al flujo de corte que se produce por el trabajo conjunto que realizan los muros cuando se conectan entre sí. Dependiendo de la severidad del sismo, esta grieta puede manifestarse con distinto nivel de espesor, pudiéndose observar en algunas ocasiones desplome de los muros.



Figura 3.8: Daños en encuentro de muros (Núñez, 2010)

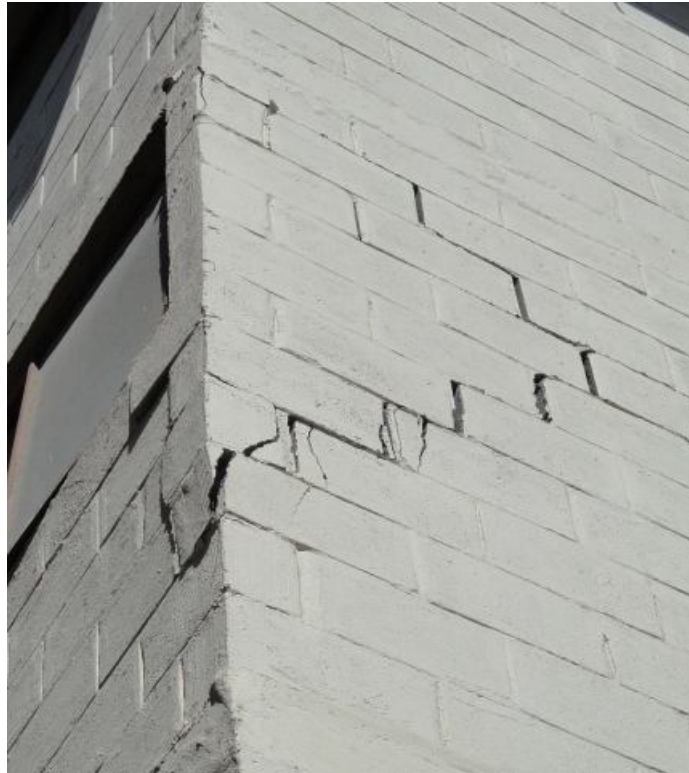


Figura 3.9: Daños en encuentro de muros (Núñez, 2010)

Este daño se evita en la medida que se coloque elementos que conecten los muros a lo largo del plano de unión entre ellos.

3.3. Daños por detallamiento en muros de albañilería confinada

En esta modalidad de refuerzo, los refuerzos son los elementos de confinamiento de hormigón armado que enmarcan completamente el paño de albañilería según lo que establecen las normas de diseño y cálculo de este tipo de albañilería (NCh2123). Estos refuerzos proporcionan la resistencia a la flexión del muro y la capacidad de deformación del muro una vez que se agrieta el paño de albañilería cuando su comportamiento está controlado por la falla de corte o de flexión.

Para lograr la capacidad de deformación destacada, los elementos de refuerzo de hormigón armado deben tener una sección transversal de dimensiones adecuadas y refuerzos de acero.

Los aspectos del detallamiento que deben atenderse en este tipo de muro de albañilería se han destacado en el punto 3.1 y de acuerdo con ellos se organiza la muestra de ejemplos de mal detallamiento.

3.3.1. Unión entre el paño de albañilería y los elementos de confinamiento

Los daños en la unión entre el paño de albañilería y los elementos de confinamiento son bastante frecuente y pueden ocasionar graves daños en el edificio debido al vaciamiento de los muros como el mostrado en las figuras 3.10, 3.11 y 3.12.



Figura 3.10: Vaciamiento por falla de la unión entre el paño de albañilería y el pilar de confinamiento (Astroza *et al.* , 2010a)



Figura 3.11: Inicio del vaciamiento por falla en la unión entre el paño de albañilería y el pilar de confinamiento (BuildChange, 2006)



Figura 3.12: Inicio del agrietamiento en la unión entre el paño de albañilería y el pilar de confinamiento (BuildChange, 2006)

3.3.2. Refuerzo de las aberturas de ventanas y de las perforaciones del muro

Los daños en esta zona del muro son bastante frecuente debido a que en la práctica no se colocan los refuerzos en las aberturas, lo que genera que las tensiones de tracción que se desarrollan en estas zonas deba resistirlas solamente la albañilería, lo que genera su agrietamiento por la reducida capacidad de la albañilería a resistir tensiones de tracción.

Ejemplos de daños en las aberturas de ventanas mal reforzadas se muestran en las figuras 3.13.



Figura 3.13: Daños en zona de aberturas (Astroza *et al.* , 2010b)

3.3.3. Refuerzo de los bordes libres de las aberturas de puertas

Al tratarse de aberturas que van desde la losa de piso hasta la cadena del piso superior, se genera un borde libre en el paño de albañilería, el que al no estar reforzado hace que el paño de albañilería no quede confinado.

Un ejemplo de daño en la zona de abertura de puertas sin refuerzo se muestran en la figura 3.14.



Figura 3.14: Daños en el paño de albañilería vecino a una abertura de puerta no reforzada (Pinto, 2011)

3.3.4. Dimensión de los elementos de confinamiento

Una de las situaciones más críticas que se presentan en los muros de albañilería confinada se produce cuando las grietas del paño de albañilería se propagan a los pilares de confinamiento debido a la reducida dimensión de la sección transversal y a una baja cuantía de barras de refuerzo transversal del pilar (Kato, 2010).

Ejemplo de los daños que se producen debido a las reducidas dimensiones de los pilares de confinamiento se muestran en las Figuras 3.15 y 3.16.



Figura 3.15: Daño severo en un pilar de confinamiento de dimensiones reducidas (Astroza *et al.* , 2010b)



Figura 3.16: Daño severo en un pilar de confinamiento de dimensiones reducidas (Astroza *et al.* , 2010b)

3.3.5. Refuerzo del nudo en el encuentro de los elementos de confinamiento

Este tipo de daño se ha presentado en muchas estructuras de albañilería confinada debido a que las normas de diseño no dan recomendaciones relacionadas con este tipo de detalle, lo que

genera que el nudo en el encuentro del pilar con la cadena se haga de acuerdo con el criterio de los obreros que participan en la construcción de este tipo de estructuras. Una prueba de ello es que en un mismo conjunto de edificios, las soluciones adoptadas sobre el particular cambian de un edificio a otro.

Las consecuencias de esta falta de recomendaciones sólo se manifiestan durante sismos severos ya que para que se produzca el daño del nudo, los paños de albañilería deben estar agrietados, lo que ocurre sólo en un evento con las características destacadas.

Daños en estos encuentros se muestran en las Figuras 3.17, 3.18 y 3.19.



Figura 3.17: Daño en el nudo de encuentro de un pilar y de una cadena (Astroza *et al.* , 2010b)



Figura 3.18: Daño en el nudo de encuentro de un pilar y de una cadena (Astroza *et al.* , 2010b)



Figura 3.19: Daño en el nudo de encuentro de un pilar y de una cadena (Astroza, 2010)

3.3.6. Empalme y anclaje de la armadura de refuerzo longitudinal de los elementos de confinamiento

Este tipo de daños es poco frecuente pues en general este detalle se encuentra solucionado en los manuales de detallamiento de estructuras de hormigón armado (ICH, 2009) por lo que se adopta esa solución en la mayoría de los edificios de albañilería confinada.

Aun así, algunos daños debido a la mala ejecución de este detalle se muestran en las figuras 3.21 y 3.20.



Figura 3.20: Daño en el empalme de barras longitudinales de una cadena de confinamiento (Astroza, 2010)



Figura 3.21: Daño en el empalme de barras longitudinales de una cadena de confinamiento (Astroza, 2010)

3.3.7. Separación de los estribos de refuerzo en las zonas críticas de los pilares

Los extremos de los pilares, también llamados zonas críticas de los pilares (ver figura 3.22), necesitan un buen detallamiento de los refuerzos pues son zonas que están sometidas a los mayores esfuerzos de corte en caso que ocurra un sismo de gran magnitud. Si bien es fundamental la dimensión de la sección transversal de los pilares como se comentó en el punto 3.3.4, es importante tener una buena cuantía y un buen detallamiento de los estribos en estas zonas.

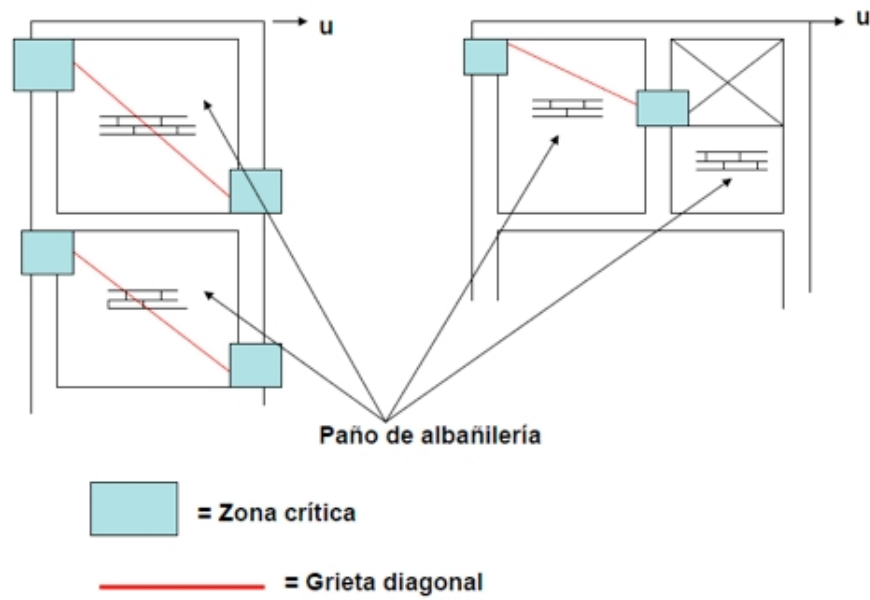


Figura 3.22: Zonas críticas en los pilares de confinamiento cuando el desplazamiento del muro es hacia la derecha (Astroza, 2008)

Un mal detallamiento de las zonas críticas de los pilares de confinamiento pueden ocasionar daños considerables, como los mostrados en la figura 3.23.



Figura 3.23: Daño en un pilar de confinamiento por falta de estribos (Astroza *et al.*, 2010b)

3.3.8. Separación entre los elementos de confinamiento

Los daños producto de una separación excesiva entre los pilares de confinamiento son poco frecuentes pero el tener un daño de este tipo puede significar el vaciamiento del paño de albañilería y con ello una degradación importante de la capacidad resistente del edificio, tal como se menciona en el punto 3.3.1.

3.3.9. Espesor de las juntas horizontal y vertical de mortero

Los daños por juntas con un espesor excesivos o mal ejecutadas, como son las juntas en las que el mortero no se extiende en toda la cara de asiento disponible, se pueden observar en terremotos de intensidad moderada y representan un aviso de lo que puede ocurrir en la eventualidad que se produzca un sismo de características destructivas.

3.3.10. Forma de los ganchos de los estribos

El daño que se produce por esta causa es bastante similar al daño tratado en el punto 3.3.7 , pues al no tener estribos con ganchos en 135° , el pilar funciona como si no existiera dicho estribo para todo efecto, produciéndose pandeo de los fierros longitudinales de los pilares o pérdida de la capacidad resistente de la zona crítica.

Capítulo 4

Selección de detalles típicos

En este capítulo se muestra una selección de detalles de las barras de refuerzo que se pueden recomendar luego de la recopilación de antecedentes realizada y detallada en los capítulos anteriores. Los detalles constituyen una propuesta preliminar, la cual debe ser revisada y discutida con el propósito de utilizarlos en edificios de albañilería estructural.

Para el caso de muros de albañilería confinada no se incluye el detallamiento cuando se utilizan canastillas de armaduras prefabricados, refuerzos electrosoldados. El detallamiento de este tipo de refuerzo debe ser proporcionado por sus fabricantes, respaldando las soluciones propuestas con resultados de estudios experimentales. Como antecedente se puede destacar la información que se entrega en el tríptico sobre autoconstrucción en albañilería (ACMA, 2011).

A continuación se definen los diferentes símbolos utilizados en los distintos detalles propuestos. En estas definiciones no se dan valores, ellos se deben determinar respetando las disposiciones de las normas de albañilería reforzada y hormigón. Algunos de estos valores se pueden ver en los mismos detalles propuestos y las fórmulas para obtenerlos se encuentran en el Anexo A.

a : Separación entre las barras longitudinales de la escalerilla.

b : Ancho del suple de refuerzo en el encuentro de muros o en un borde libre.

b_c : Ancho de la cadena o viga de hormigón.

b_p : Ancho del pilar de hormigón.

c : Largo del endentado.

d : Longitud de la zona crítica de un pilar de confinamiento medida desde el borde inferior de

la cadena de confinamiento.

e_j : Espesor de la junta de mortero.

g_t : Largo del gancho de los estribos de pilares y cadenas de hormigón.

H : Altura de piso.

h_c : Altura de la cadena o viga de hormigón.

h_p : Altura del pilar de hormigón.

l_d : Largo de desarrollo o de empalme de una barra de refuerzo.

l_{dh} : Largo de desarrollo de una barra con un gancho.

l_g : Largo de gancho.

r : Recubrimiento de las barras longitudinales de los pilares y cadenas de hormigón.

s_h : Separación entre las barras horizontales.

s_v : Separación entre las barras verticales.

s_e : Separación entre los travesaños de las escalerillas.

s_t : Separación entre los estribos de los pilares.

s_{t1} : Separación entre el primer estribo y el borde inferior de la cadena en la zona crítica de los pilares.

s_{t2} : Separación de los estribos en la zona crítica.

t : Ancho del muro de albañilería.

ϕ_h : Diámetro de la barra horizontal ubicada dentro de la junta de mortero.

ϕ_v : Diámetro de la barra vertical ubicada dentro de los huecos de las unidades de albañilería.

ϕ_{hab} : Diámetro de la barra horizontal de refuerzo de aberturas ubicada dentro de la junta de mortero.

ϕ_{vab} : Diámetro de la barra vertical de refuerzo de aberturas ubicada dentro de los huecos de las unidades de albañilería.

ϕ_{lc} : Diámetro de las barras longitudinales de la cadena de hormigón.

ϕ_{tc} : Diámetro de las barra de refuerzo transversal de la cadena de hormigón (estribos).

ϕ_{lp} : Diámetro de las barras longitudinales del pilar de hormigón.

ϕ_{tp} : Diámetro de las barra de refuerzo transversal del pilar de hormigón (estribos).

ϕ_{lca} : Diámetro de la barras longitudinales de la cadeneta de hormigón.

ϕ_{tca} : Diámetro de la barra de refuerzo transversal de la cadeneta de hormigón (trabas).

4.1. Albañilería armada

En esta sección se muestran los detalles de las barras de refuerzo de muros de albañilería armada construidos con unidades cerámicas con las características geométricas de las unidades fabricadas en Chile y algunos detalles para muros de albañilería armada construidos con bloques huecos de hormigón.

Los detalles seleccionados se identifican en la figura 4.1, la identificación es numérica y corresponde a la numeración utilizada del punto de este capítulo donde se hace referencia al detallamiento.

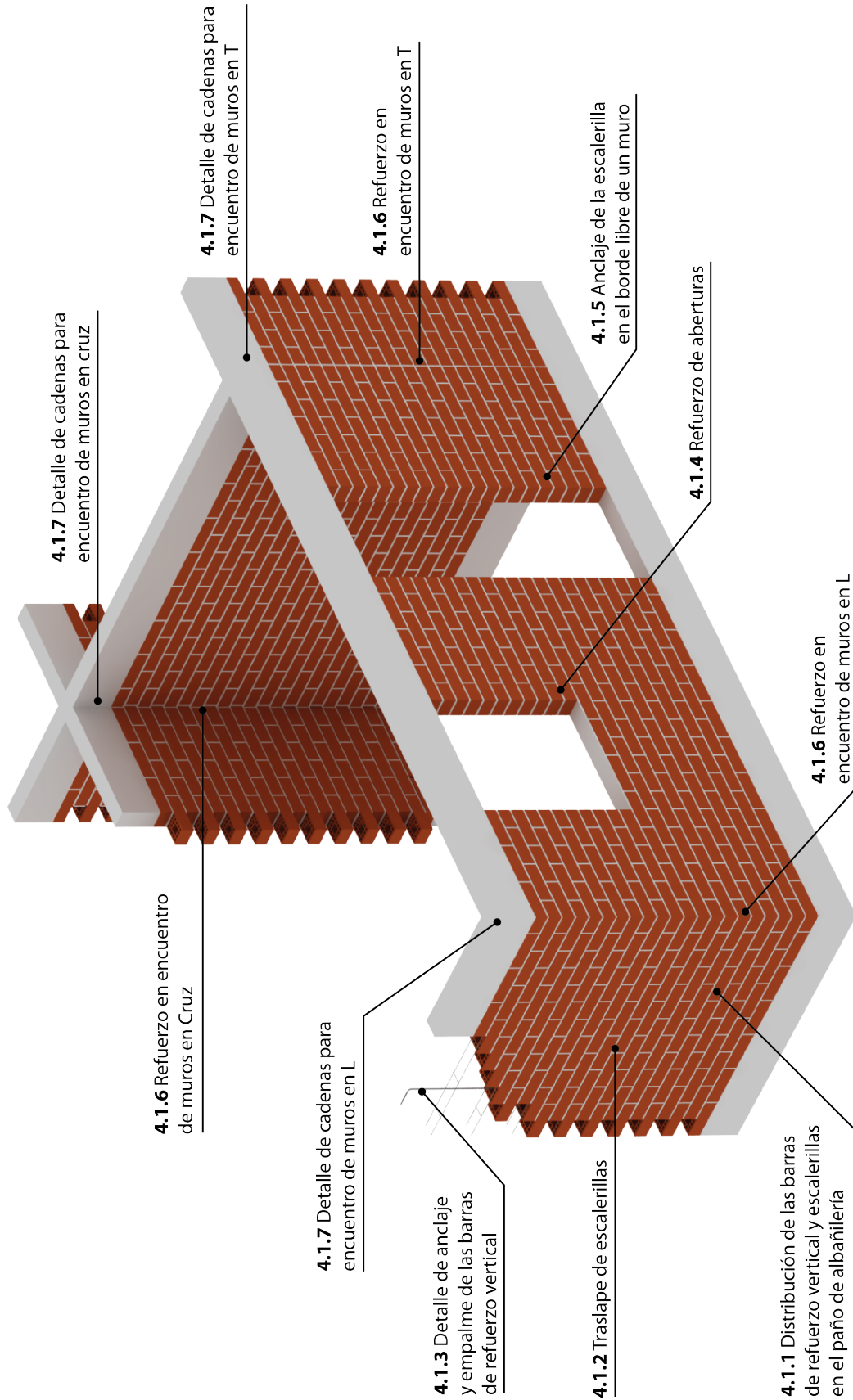


Figura 4.1: Identificación de los detalles seleccionados.

4.1.1. Distribución de las barras de refuerzo vertical y escalerillas en el paño de albañilería

En las figuras 4.2 y 4.3 se muestra la distribución de las barras de refuerzo ubicadas a lo alto (escalerillas) y a lo largo del paño de albañilería. Las limitaciones destacadas de los diámetros de las barras de refuerzo corresponden a las establecidas en la norma NCh1928 (INN, 2003a).

La armadura horizontal se debe extender en todo el largo del paño de albañilería y debe estar embebida en el mortero de junta en todo este largo.

Como se vio en el capítulo de daños, específicamente en las figuras 3.5 y 3.6, la falta de refuerzos a lo alto y a lo largo del paño de albañilería provoca la trituración de las unidades de albañilería, debido a su baja resistencia, por lo que es necesario que estas barras se encuentren para así generar que las tensiones sean resistidas también por estas barras de refuerzo.

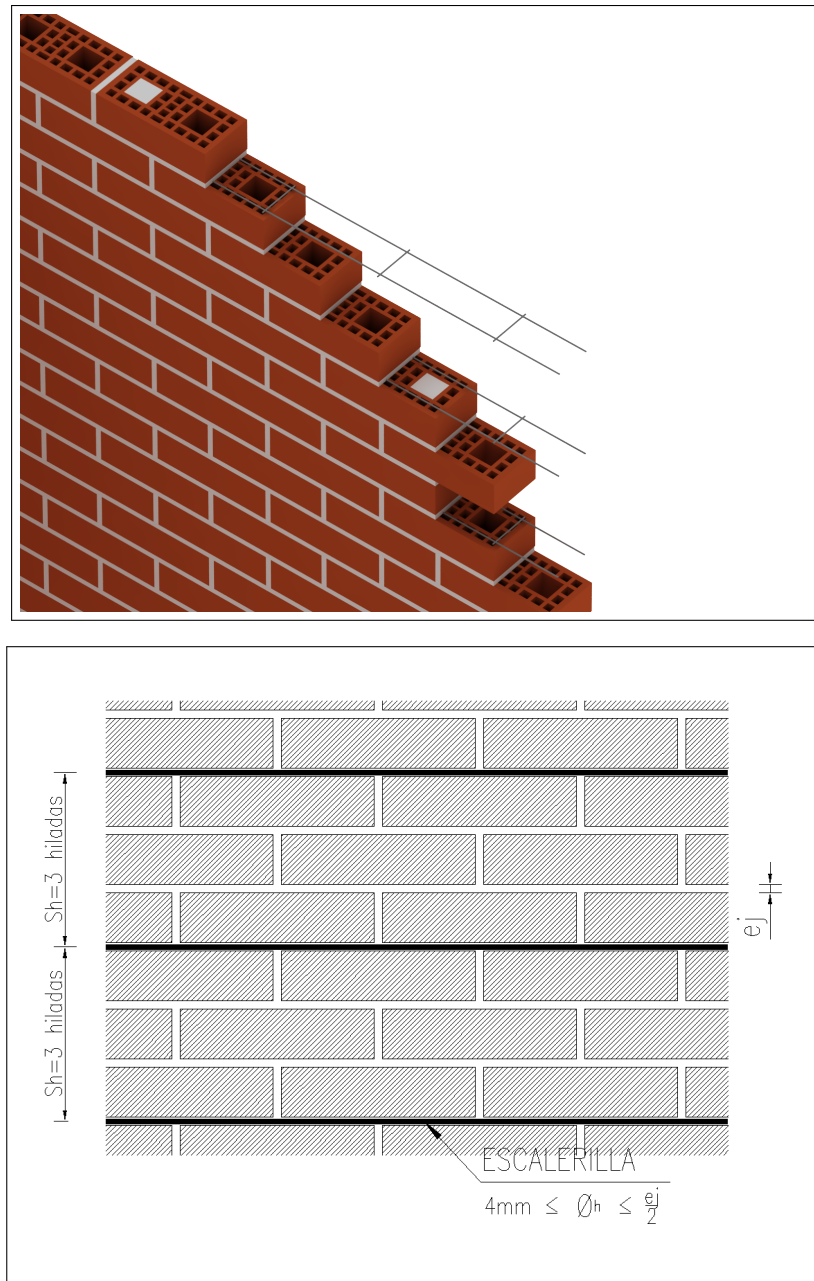


Figura 4.2: Distribución de las barras de refuerzo horizontal (escalerillas) a lo alto de un paño de albañilería.

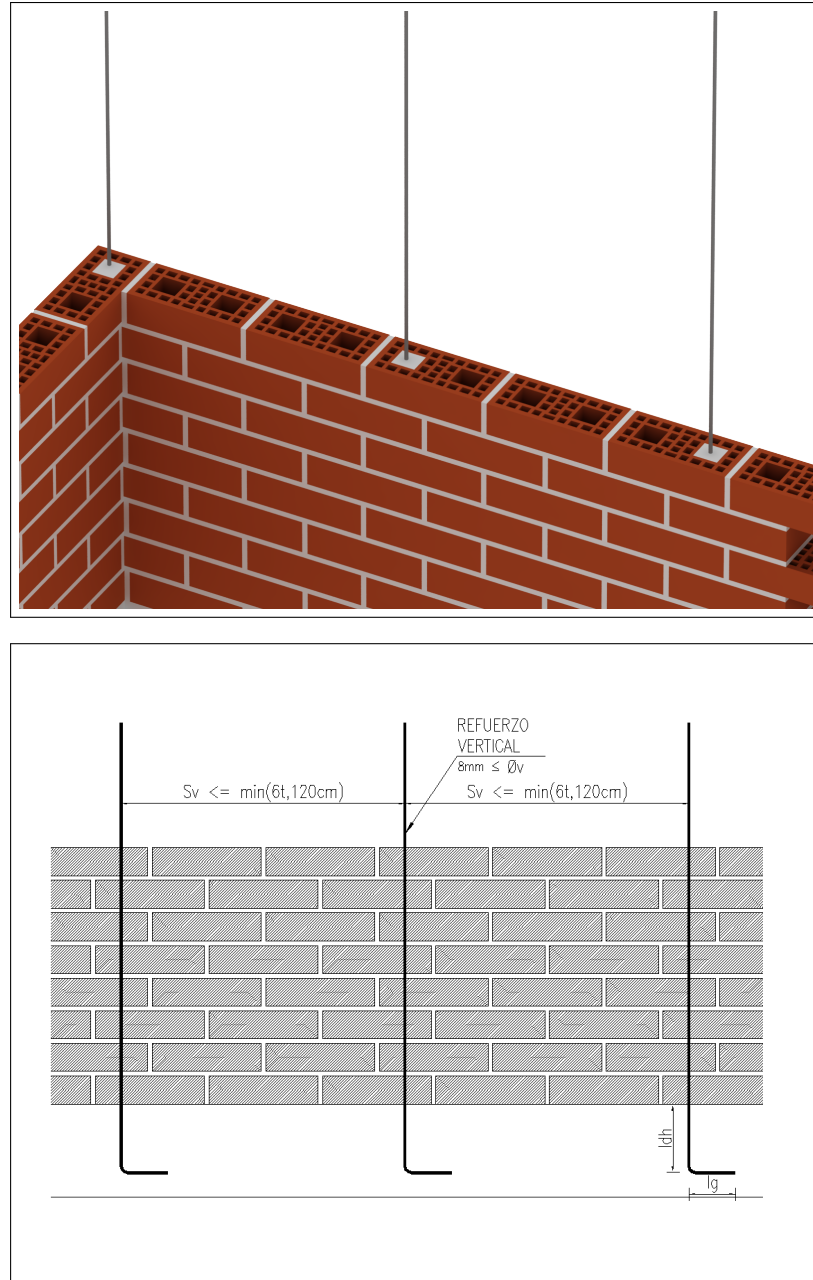


Figura 4.3: Distribución de las barras de refuerzo vertical a lo largo de un paño de albañilería.

4.1.2. Traslape de escalerillas

La figura 4.4 muestra como se debe hacer el traslape de las escalerillas en los paños de albañilería. Considerando que este empalme debe hacerse en una junta horizontal de mortero sin que se monten las escalerillas una sobre la otra, la longitud de traslape no puede ser mayor que la separación entre los travesaños de ellas. Esta condición y su resultado, limita el uso de este detalle sólo a escalerillas cuya función es controlar el espesor de las grietas que se producen por los cambios volumétricos del paño de albañilería debido a las variaciones de humedad o de temperatura.

Como se comentó en el capítulo de daños, existen ejemplos de traslapes mal logrados como es el caso del que se puede ver en la figura 3.1, el cual como se puede apreciar es un empalme de un largo aproximadamente 15cm, lo que no cumple los requisitos sísmicos que plantean normas como la americana (MSJC, 2011), valor que se recomienda en la figura 4.4 y que proviene de la fórmula para el largo de desarrollo entregada en el anexo A.

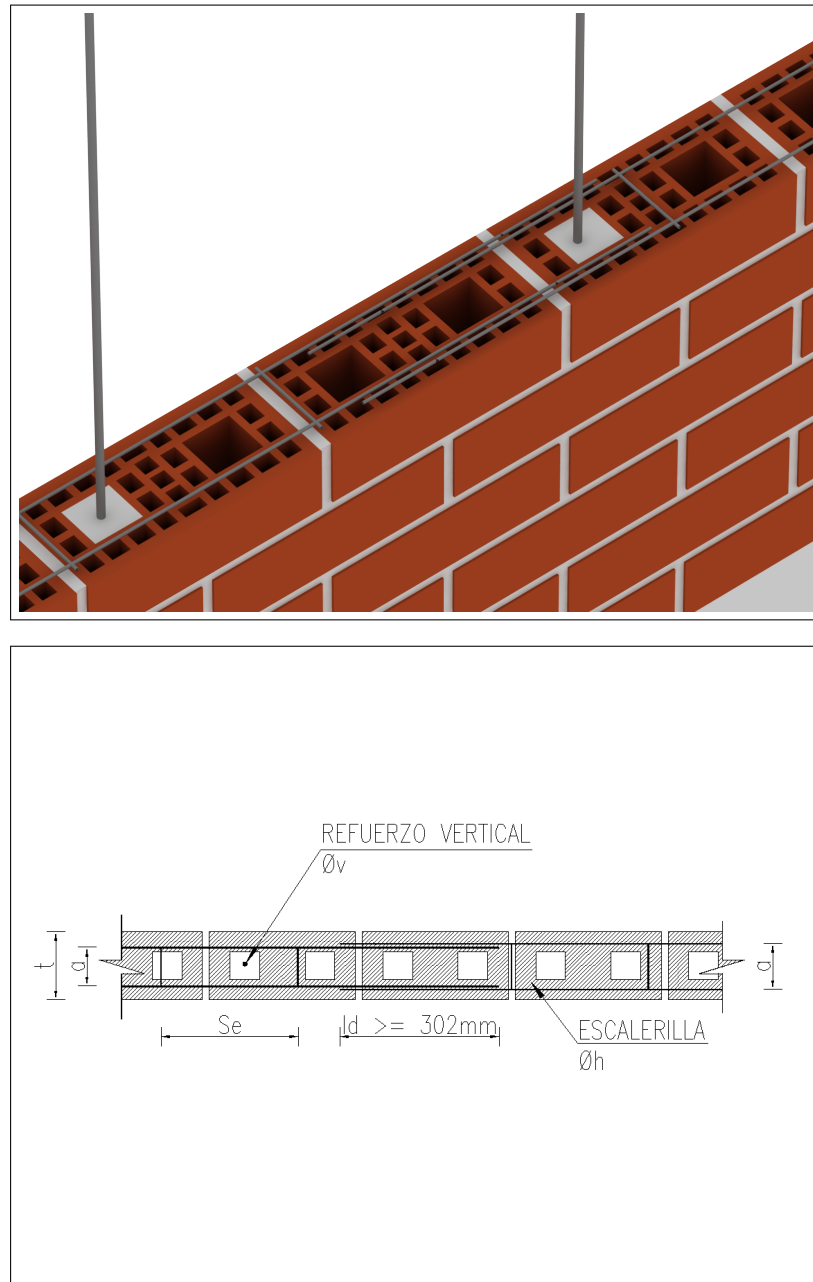


Figura 4.4: Empalme por traslapo de escalerillas.

4.1.3. Detalle de anclaje y empalme de las barras de refuerzo vertical (tensores)

Debido a la discusión que genera el uso de empalme por traslape de las barras de refuerzo vertical, producto de las reducidas dimensiones de los huecos de las unidades cerámicas fabricadas en Chile, se han considerado dos alternativas para el detallamiento de anclaje y empalme de las barras de refuerzo vertical.

En la figura 4.5 se muestra una alternativa del anclaje de las barras de refuerzo vertical de los paños de albañilería, detalles que se hacen en un elemento de hormigón armado (cadena-dintel). Esta solución fue sugerida en la redacción de la Especificación Técnica 20/81 (INN, 1981) y para su materialización se requiere la presencia de una cadena-dintel de hormigón armado ubicada a nivel de los pisos del edificio con una altura de por lo menos 35 cm.

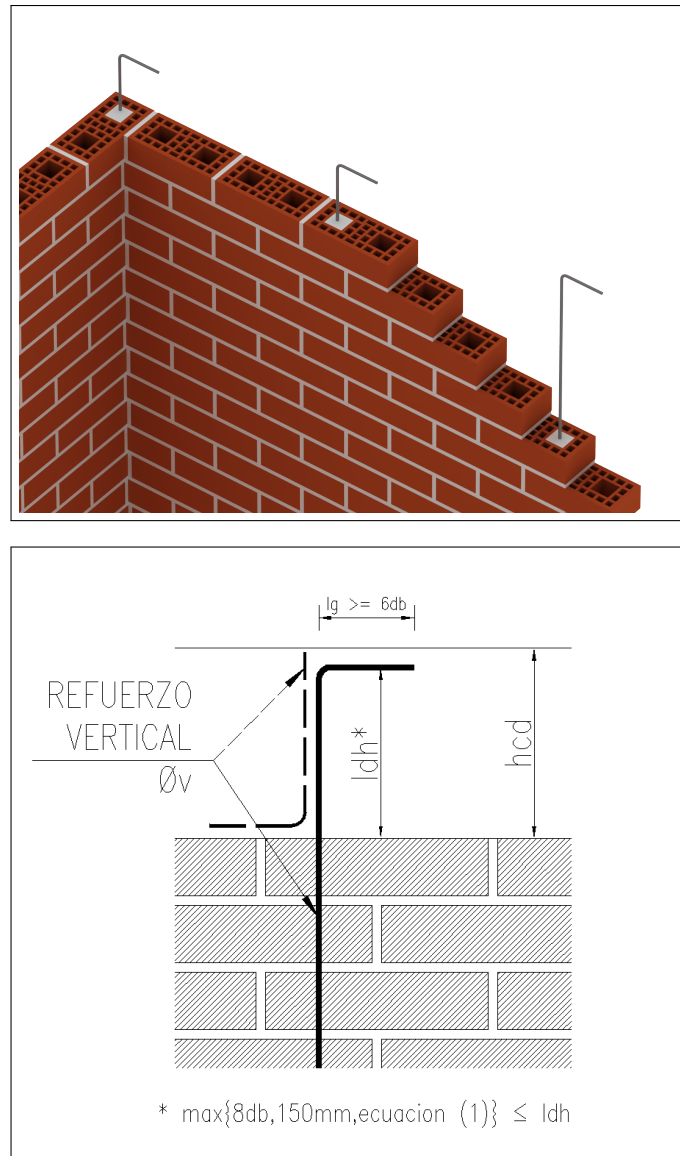


Figura 4.5: Detalle de anclaje y empalme del refuerzo vertical distribuido a lo largo del paño de albañilería.

Por otro lado, en la figura 4.6 y 4.7 se muestra una alternativa de empalme de las barras de refuerzo vertical cuando no se construye la cadena-dintel a nivel de los pisos, sin embargo sobre esta opción no se tiene información experimental suficiente cuando los huecos de las unidades son pequeños por lo que sólo puede ser una alternativa a utilizar en proyectos en la medida que se realicen ensayos que la respalden.

Estudios experimentales preliminares indicarían la necesidad de usar una longitud de empalme mayor que 60 veces el diámetro (Astroza & Silva, 2005), la cual puede ser mayor dependiendo de la ubicación y alternancia de los empalmes. Este último valor se recomienda usar en la figura 4.7 y representa una limitación mayor que la indicada en la norma NCh1928 (ver punto 6.1.5).

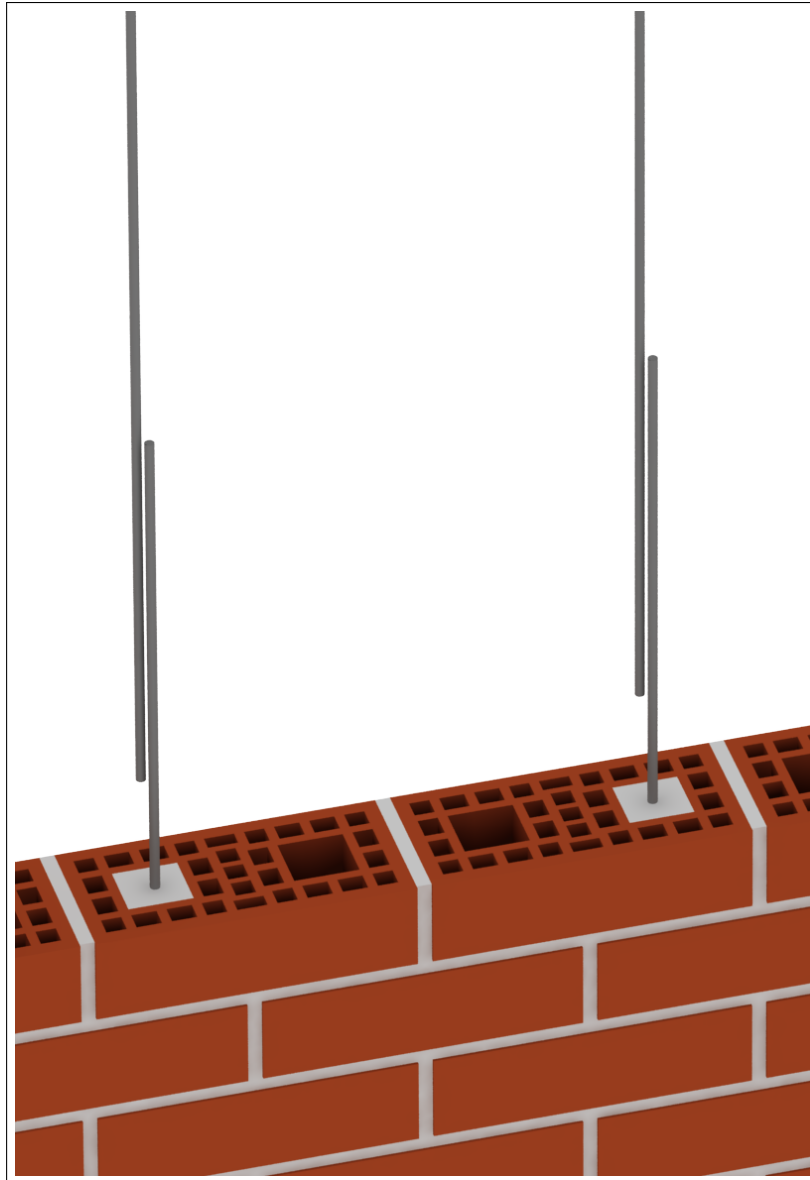


Figura 4.6: Detalle del empalme por traslape de las barras de refuerzo vertical.

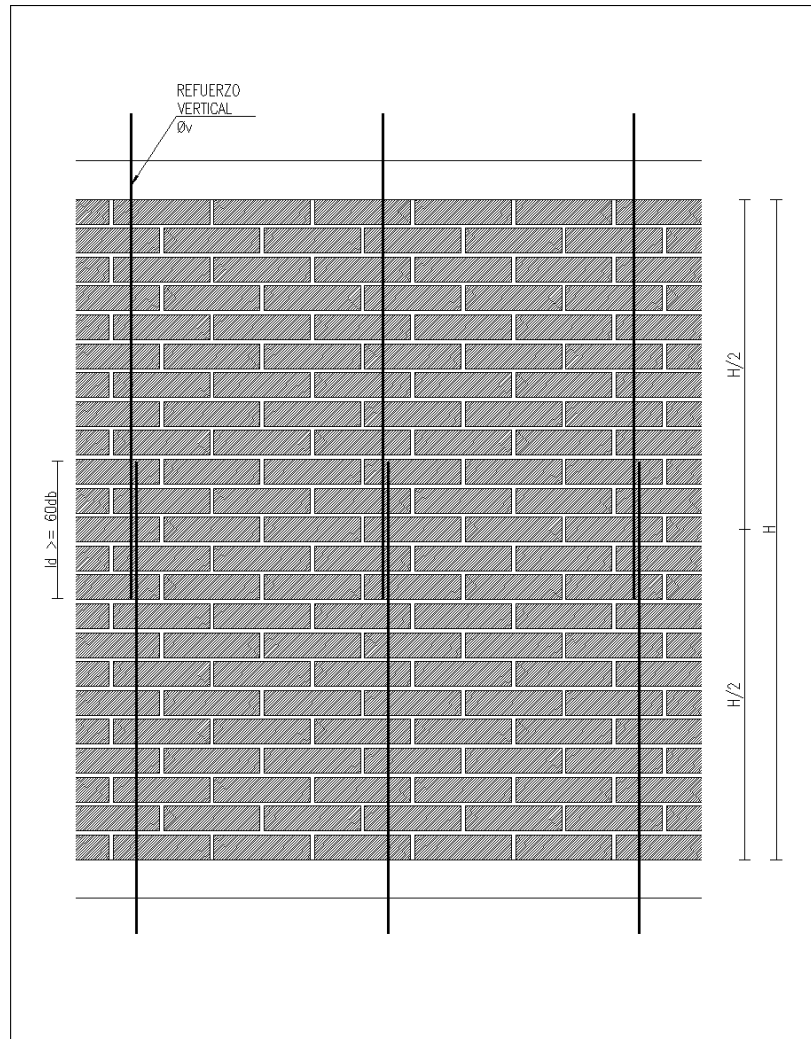


Figura 4.7: Detalle del empalme por traslape de las barras de refuerzo vertical.

Por la secuencia del proceso de construcción, este tipo de empalme se ubica de preferencia en la base de los muros y en todas las barras verticales de una vez, lo cual no representa una buena práctica si se revisan las recomendaciones de los manuales de diseño de muros de hormigón armado.

4.1.4. Refuerzo de aberturas

Las aberturas de puertas y ventanas requieren un refuerzo adicional, lo que significa que tienen que existir barras de refuerzo vertical y horizontal en torno de las aberturas, como se muestra en la figura 4.8, esto debe complementarse con un anclaje de la escalerilla en el borde libre de muro como se muestra en la sección 4.1.5. El anclaje de las barras de refuerzo vertical debe hacerse como se indica en el punto 4.1.3 de este capítulo.

Un ejemplo de daño debido a un mal detalle de refuerzo de aberturas puede verse en la figura 3.7.

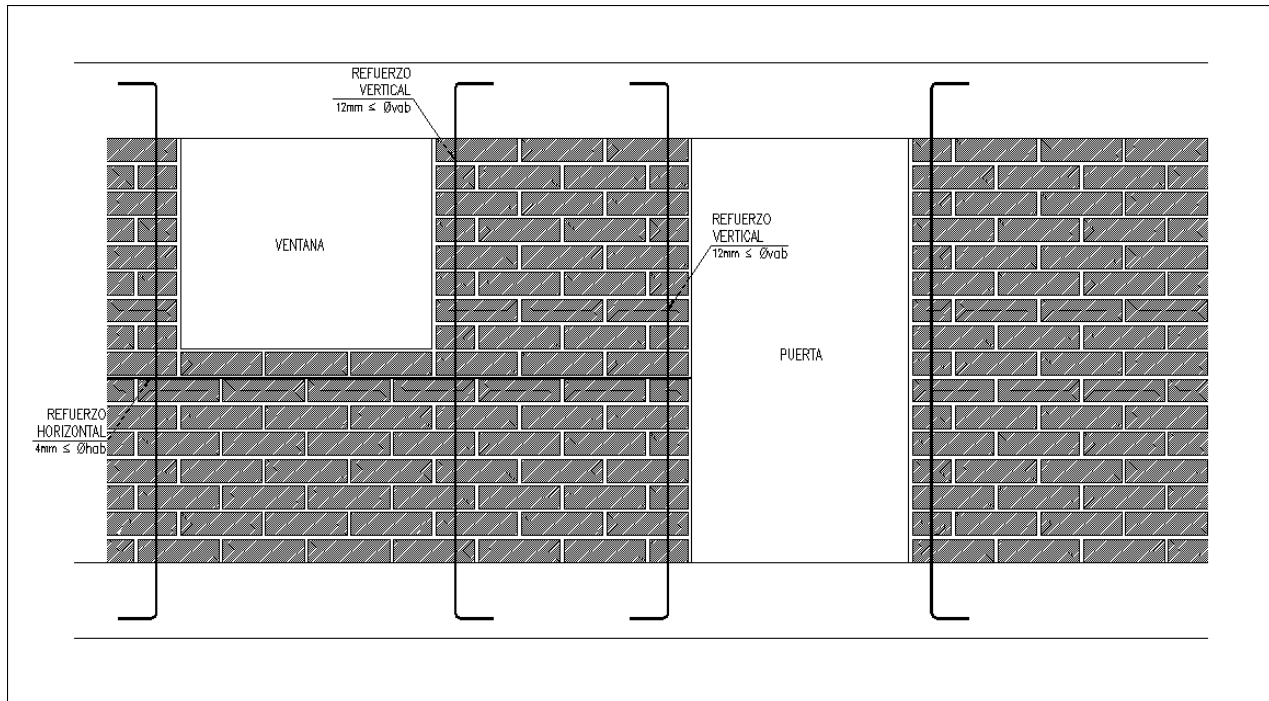


Figura 4.8: Refuerzo de aberturas.

4.1.5. Anclaje de la escalerilla en el borde libre de un muro

El anclaje de una escalerilla en el borde libre de un muro se recomienda hacerlo enganchando un travesaño, como se muestra en la figura 4.9, o colocando un suple de acero, como se muestra en la figura 4.10. Además, para asegurar un adecuado anclaje es fundamental que el travesaño de la escalerilla quede embebido en el mortero de junta y en el hormigón de relleno de los huecos verticales del muro.

En el caso de emplear bloques de hormigón o unidades de geometría similar con relleno parcial de huecos, se recomienda llenar los dos últimos huecos verticales del borde de los muros de modo que el travesaño de las escalerillas quede embebido en el material de relleno de los huecos.

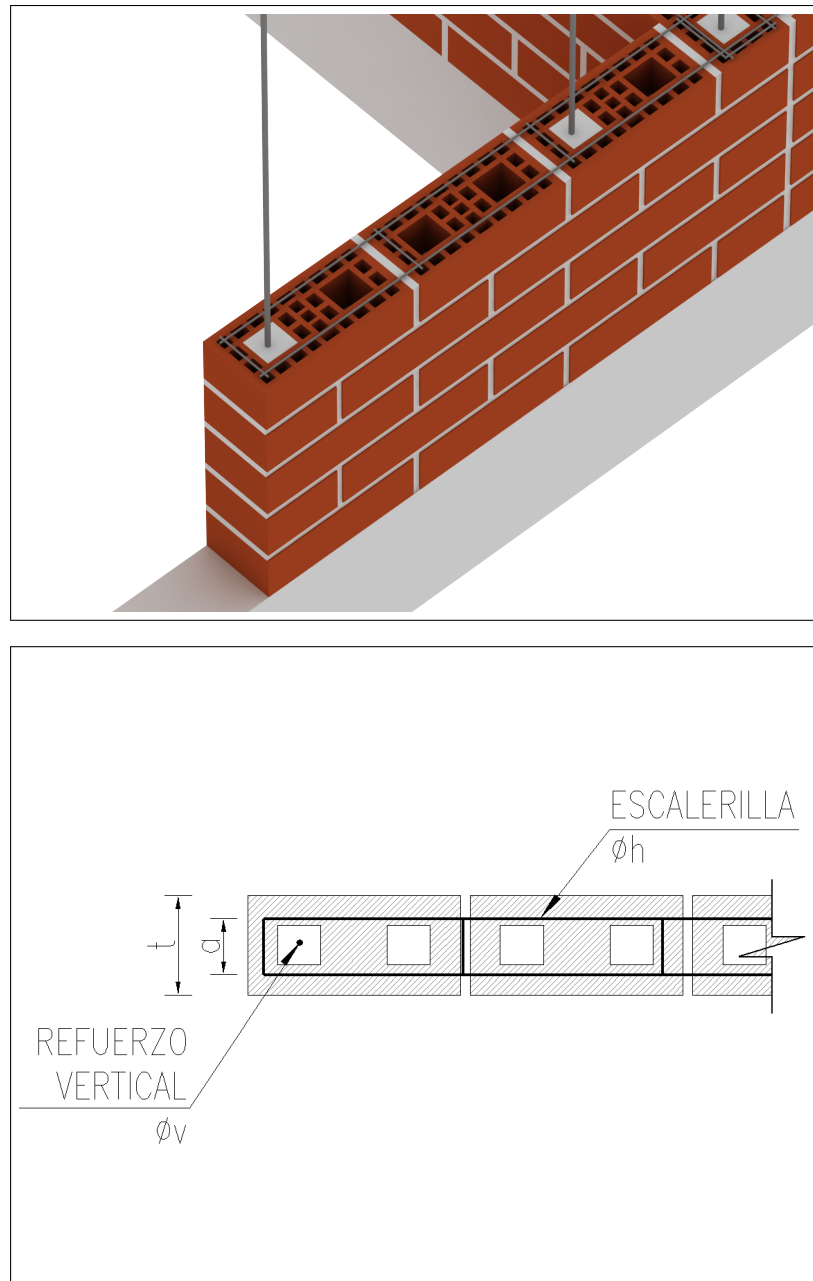


Figura 4.9: Anclaje del refuerzo horizontal (escalerilla) en el borde libre de un muro. Alternativa A.

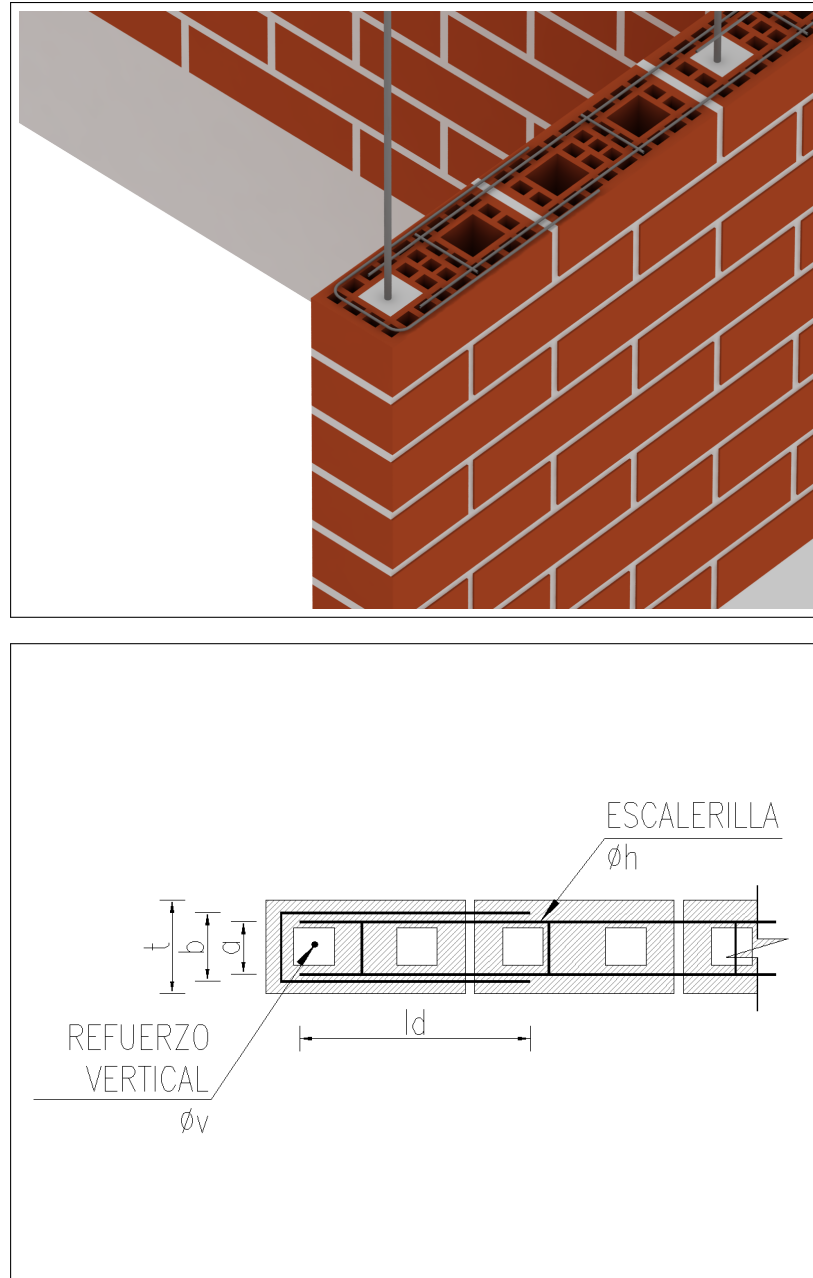


Figura 4.10: Anclaje del refuerzo horizontal (escalerilla) en el borde libre de un muro. Alternativa B.

4.1.6. Refuerzo en encuentro de muros

Para los efectos del detallamiento de las barras de refuerzo horizontal (escalerillas) en el encuentro de muros se distinguen tres formas de encuentro, ellas son: encuentro en T, en L y en cruz.

En esta sección se proponen dos alternativas para el detallamiento de anclaje de las escalerillas considerando que ellas se ubican en los paños que concurren al encuentro en juntas de mortero alternadas, ubicadas una sobre la otra. Esta diferencia de posición se identifica en las figuras des-

tacando una de las escalerillas en línea de trazos.

Un ejemplo de un mal resultado de este detalle pueden verse en la figura 3.8, el cual puede haberse evitado colocando estos elementos que unen los muros como se muestran en las figuras a continuación.

4.1.6.1. Encuentro de muros en T

Para el encuentro de muros en T las opciones que se proponen se muestran en las figuras 4.11 y 4.12. La primera alternativa es con un suple de acero el cual se coloca en la junta donde se ubica la escalerilla del muro que no continua al otro lado del encuentro. Este suple debe estar embebido en el mortero de junta y debe ubicarse su lado corto por el lado fuera de la barra de refuerzo vertical.

La segunda alternativa es con la escalerilla del muro que no continua al otro lado del encuentro con su travesaño enganchando el refuerzo vertical del encuentro.

Para el muro que continua en el encuentro, la escalerilla es continua, extendiéndose a todo el largo del muro, y se ubica en la junta de mortero inmediatamente por arriba o por debajo de la escalerilla del muro que no continua, como se muestra en la figura 4.13.

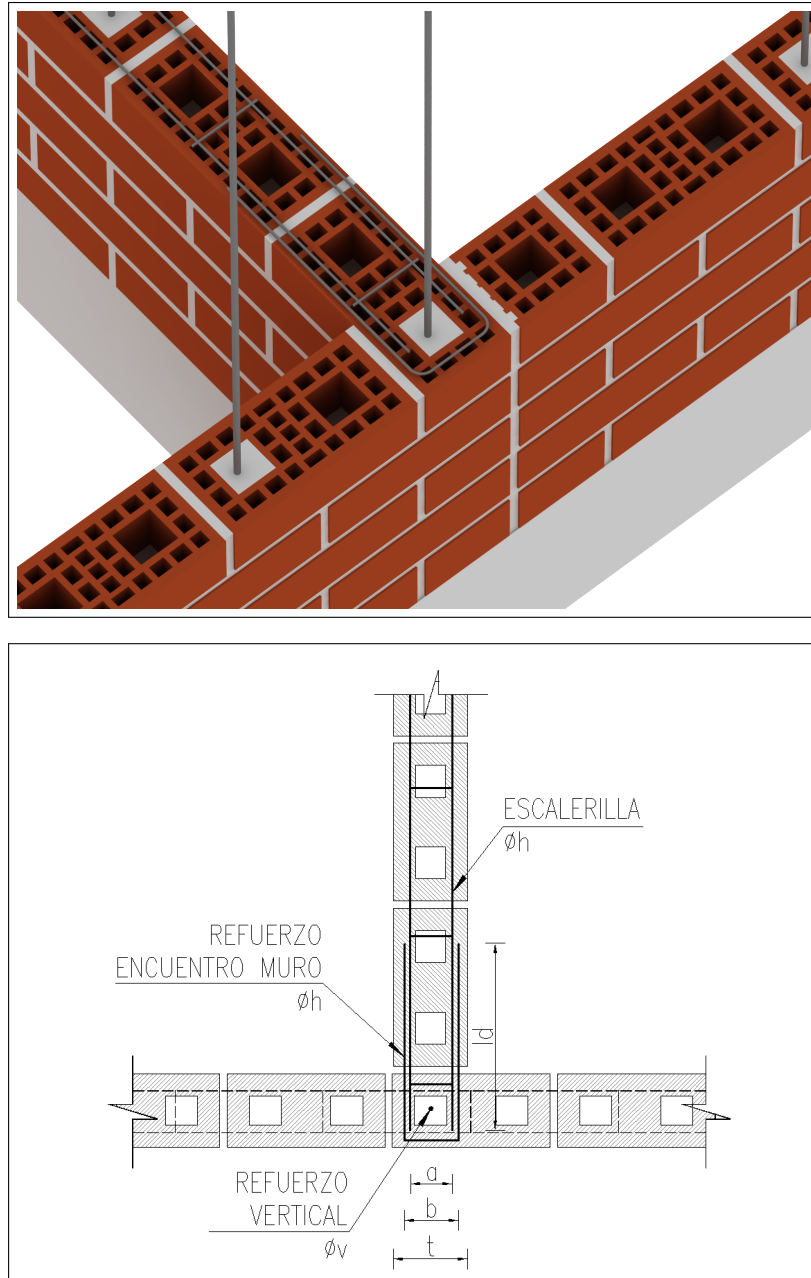


Figura 4.11: Detalle del anclaje del refuerzo horizontal (escalerilla) en un encuentro de muros en T .
Alternativa A.

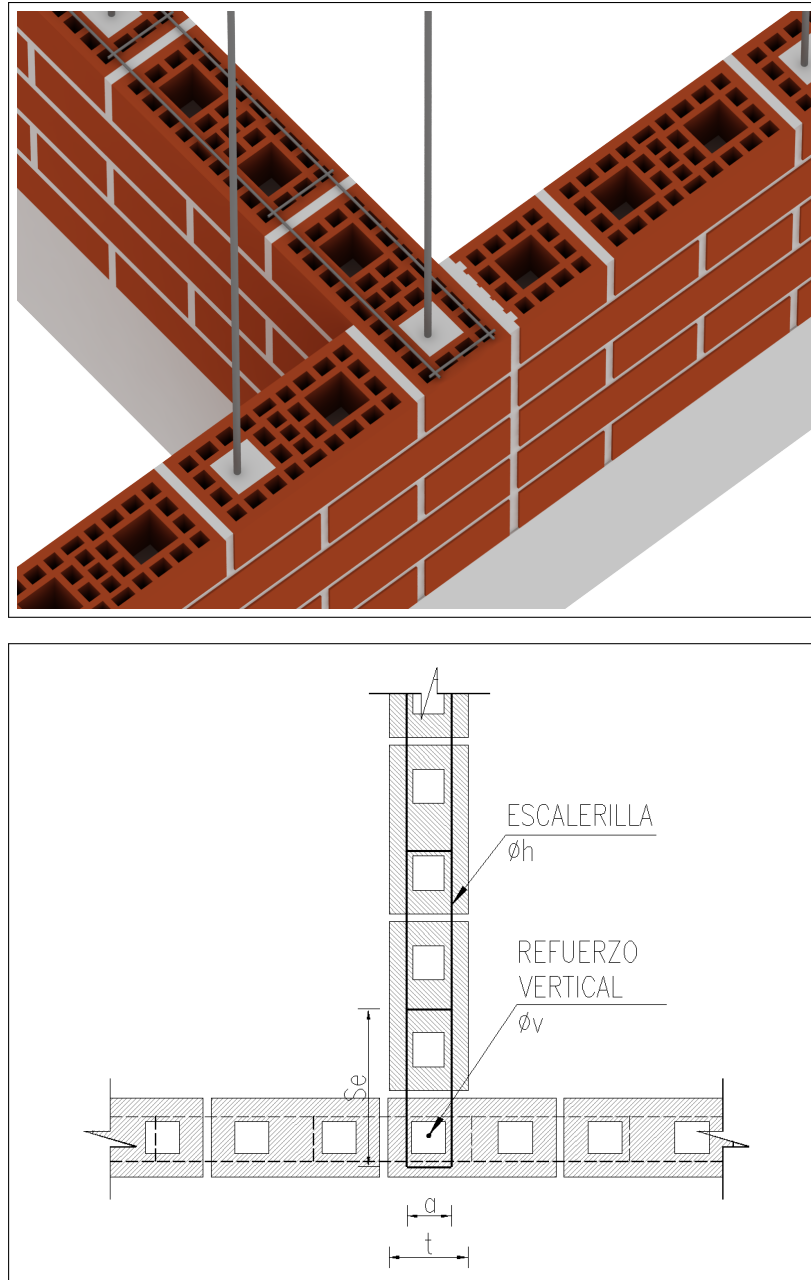


Figura 4.12: Detalle del anclaje del refuerzo horizontal (escalerilla) en un encuentro de muros en T . Alternativa B.

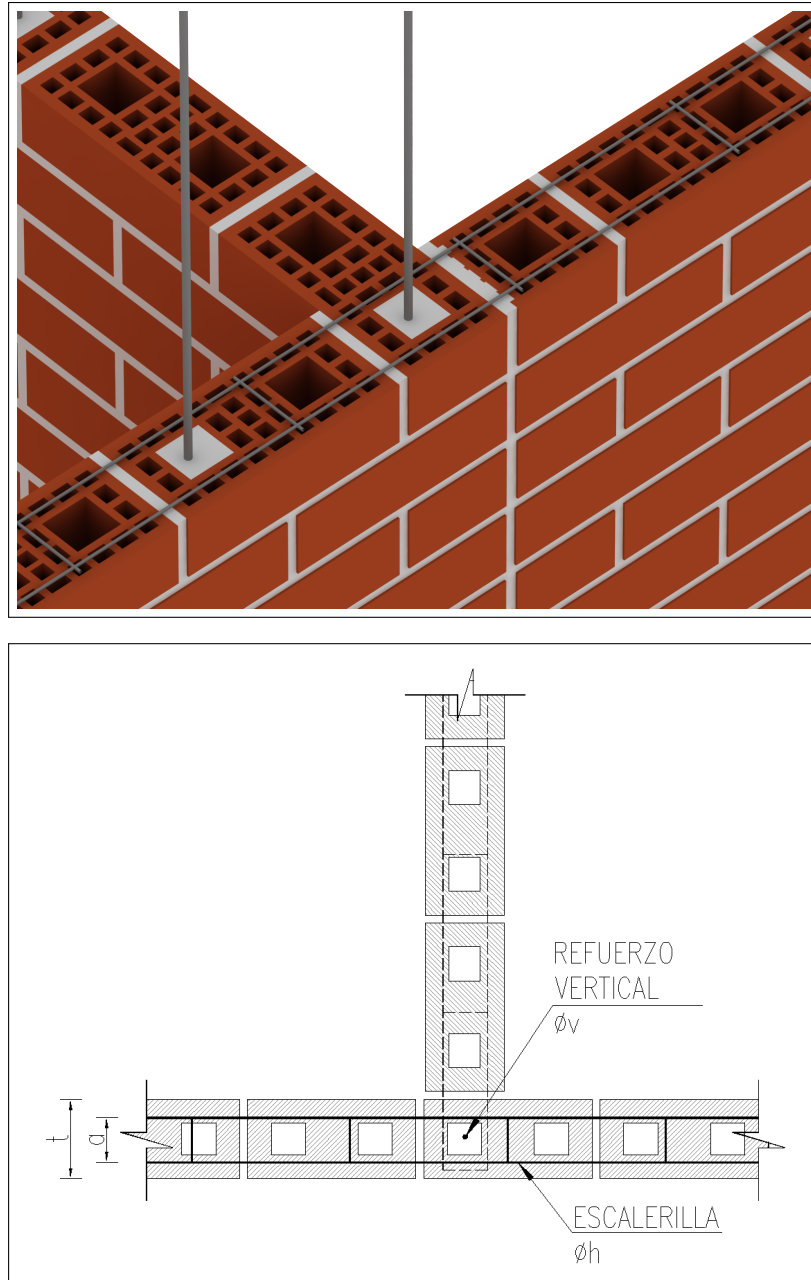


Figura 4.13: Detalle del refuerzo horizontal del muro que continua en un encuentro de muros en T.

4.1.6.2. Encuentro de muros en L

Para el caso de un encuentro de muros en L, las opciones son las mismas que la mostrada para un encuentro de muros en T, con suple y sólo con escalerilla. Estas opciones se muestran en las figuras 4.14 y 4.15.

Al igual que en el encuentro de muros en T, las barras de refuerzo horizontal (escaleras) de los muros perpendiculares deben ubicarse alternados y en distintas hiladas de ladrillos, lo que se

muestra con línea de trazos en las figuras 4.14 y 4.15.

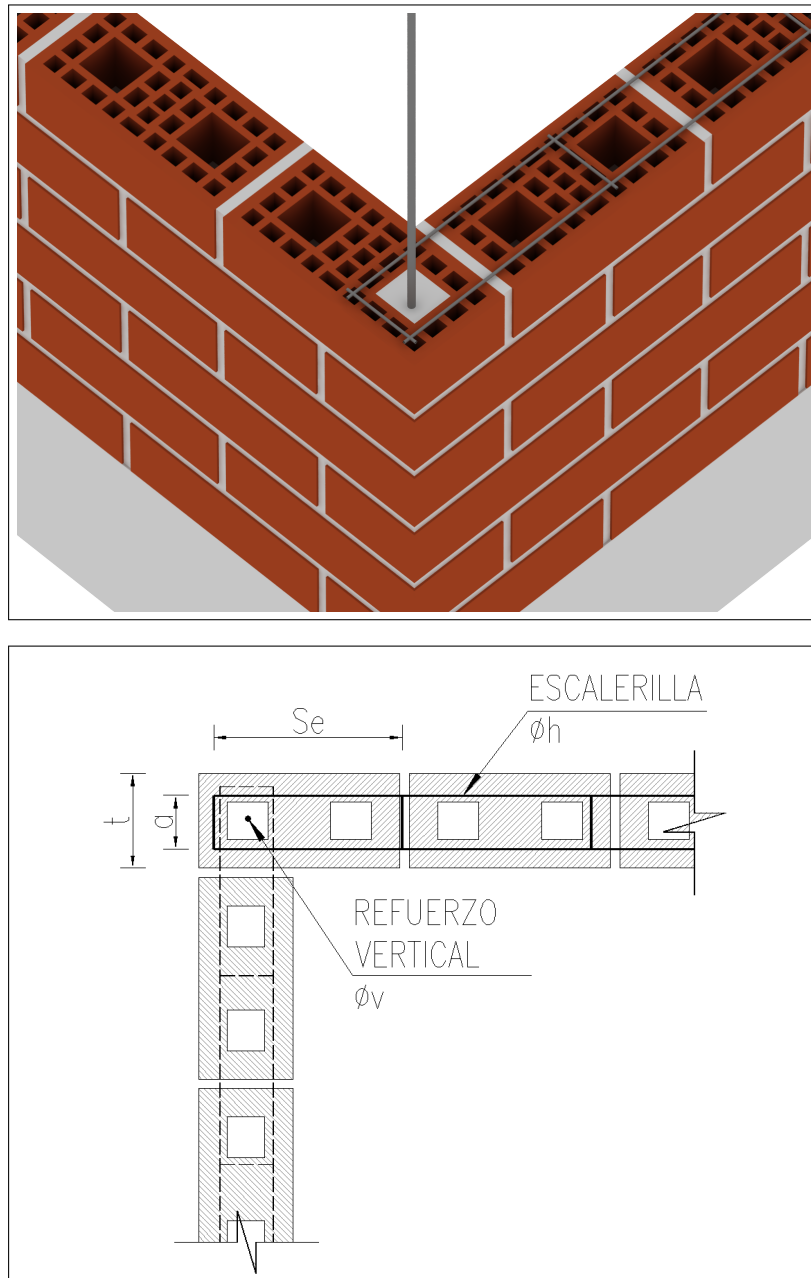


Figura 4.14: Detalle del anclaje del refuerzo horizontal (escalerilla) en un encuentro de muros en L. Alternativa A.

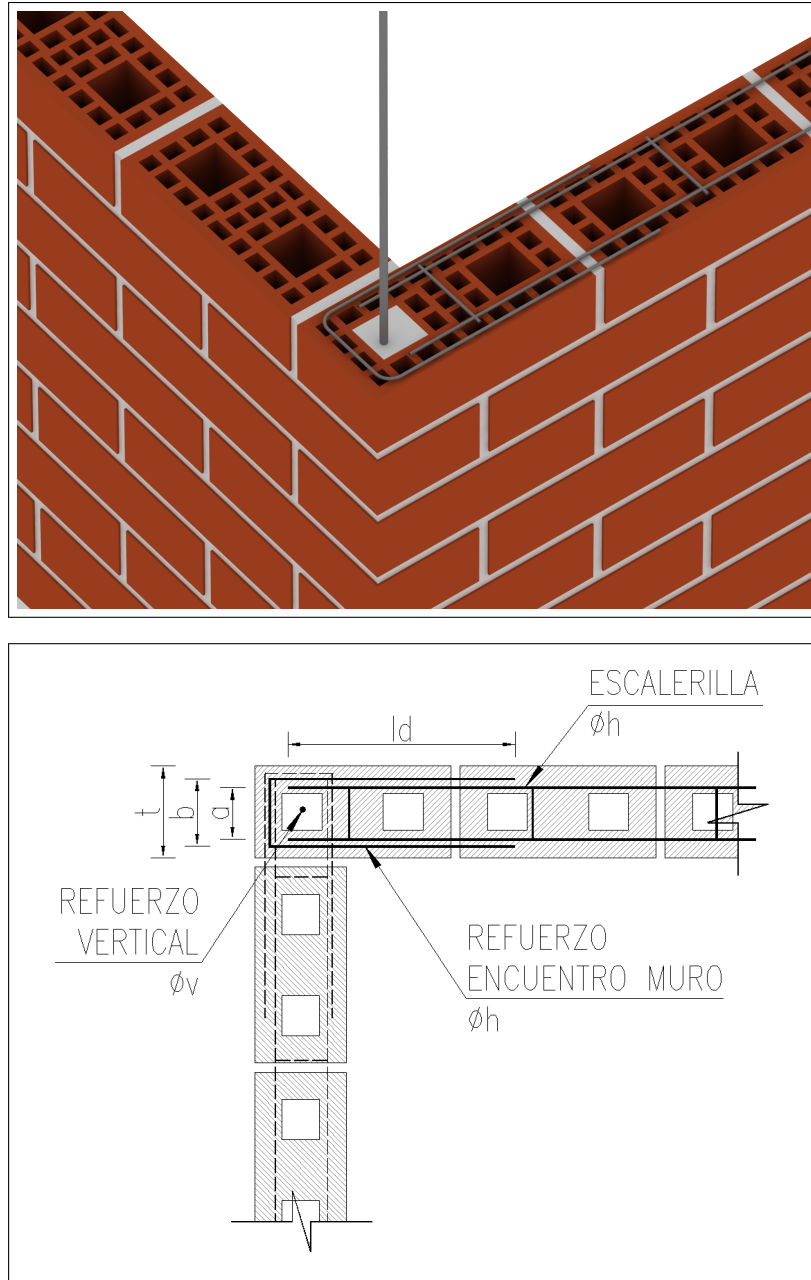


Figura 4.15: Detalle del anclaje del refuerzo horizontal (escalerilla) en un encuentro de muros en L. Alternativa B.

4.1.6.3. Encuentro de muros en Cruz

Para el encuentro de muros en cruz se debe privilegiar la continuidad de las barras de refuerzo horizontal (escalerillas) en el encuentro, como se muestra en la figura 4.16. Las escalerillas deben extenderse en todo el largo de los paños de albañilería embebidas en el mortero de junta y se deben colocar en hiladas distintas como en los casos anteriores.

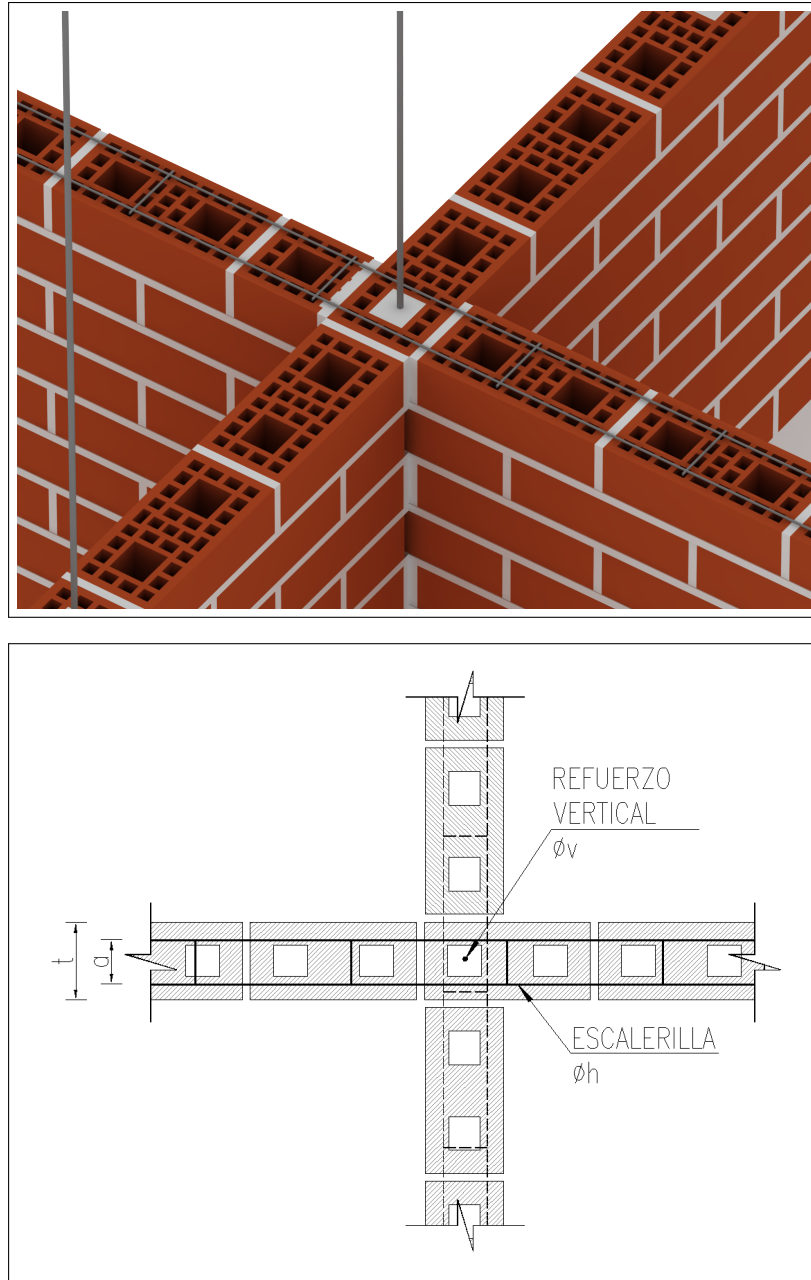


Figura 4.16: Detalle del anclaje del refuerzo horizontal (escalerillas) en un encuentro de muros en cruz.

4.1.7. Refuerzos de encuentro cadenas

Las figuras 4.17, 4.18 y 4.19 muestran el detalle de las barras de refuerzo longitudinal para un encuentro de cadenas. Estos detalles son los mismos utilizados en la sección 4.2.7 para un muro de albañilería confinada.

4.1.7.1. Encuentro de muros en T

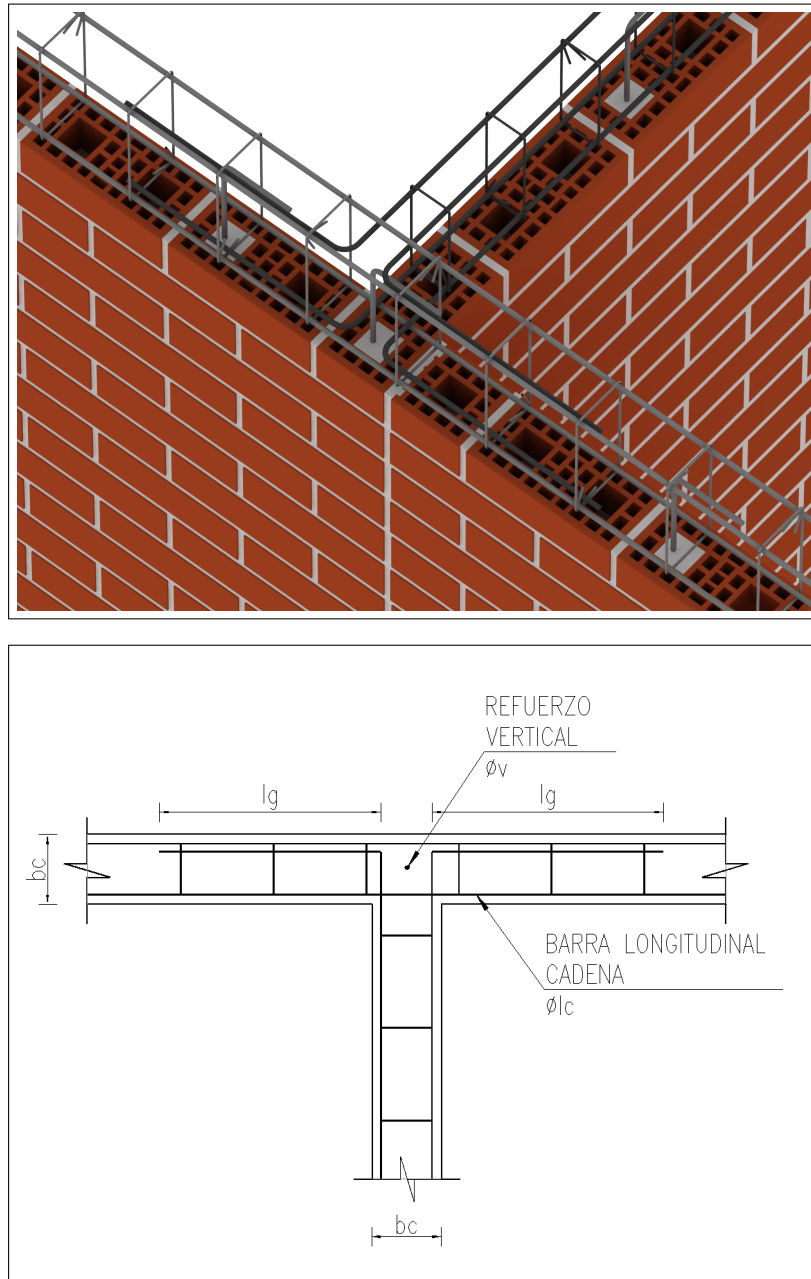


Figura 4.17: Detalle de las barras longitudinales de las cadenas de confinamiento en un encuentro en T.

4.1.7.2. Encuentro de muros en L

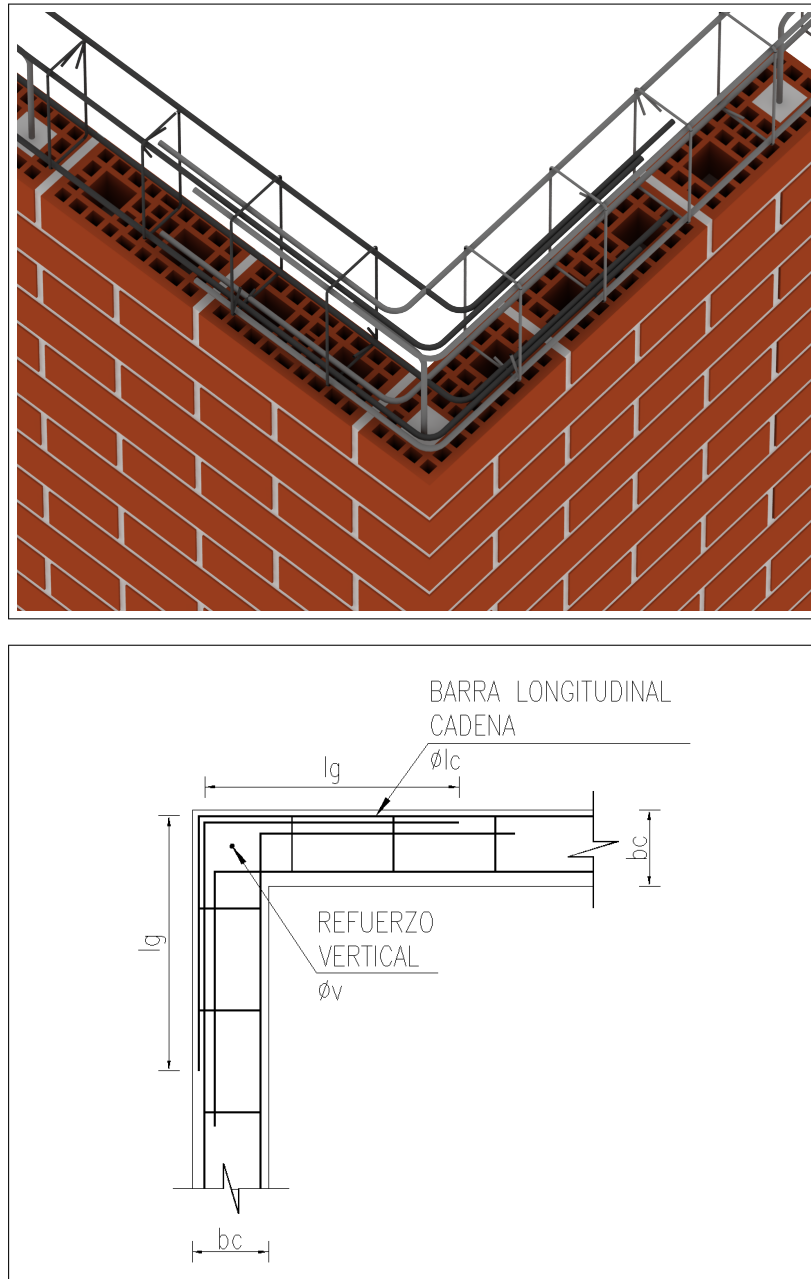


Figura 4.18: Detalle de las barras longitudinales de las cadenas de confinamiento en un encuentro en L.

4.1.7.3. Encuentro de muros en Cruz

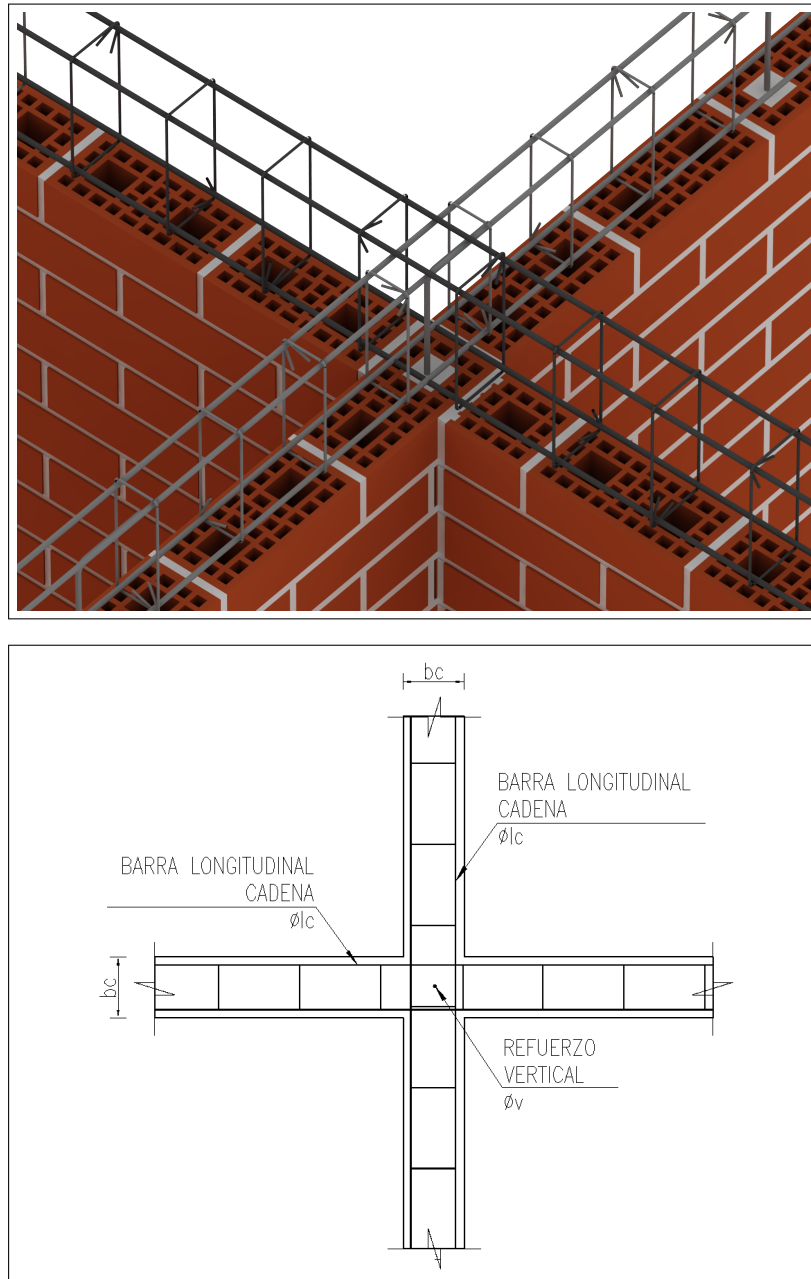


Figura 4.19: Detalle de las barras longitudinales de las cadenas de confinamiento en un encuentro en cruz.

4.2. Albañilería Confinada

En esta sección se muestran los detalles para las barras de refuerzo de los pilares y cadenas de confinamiento y para las armaduras horizontales que se coloquen en forma distribuida en el interior del paño de albañilería.

Los detalles seleccionados se identifican en la figura 4.20, la identificación es numérica y corresponde a la numeración utilizada del punto de este capítulo donde se hace referencia al detallamiento. La simbología usada en las figuras de este capítulo se detalla en el comienzo del capítulo.

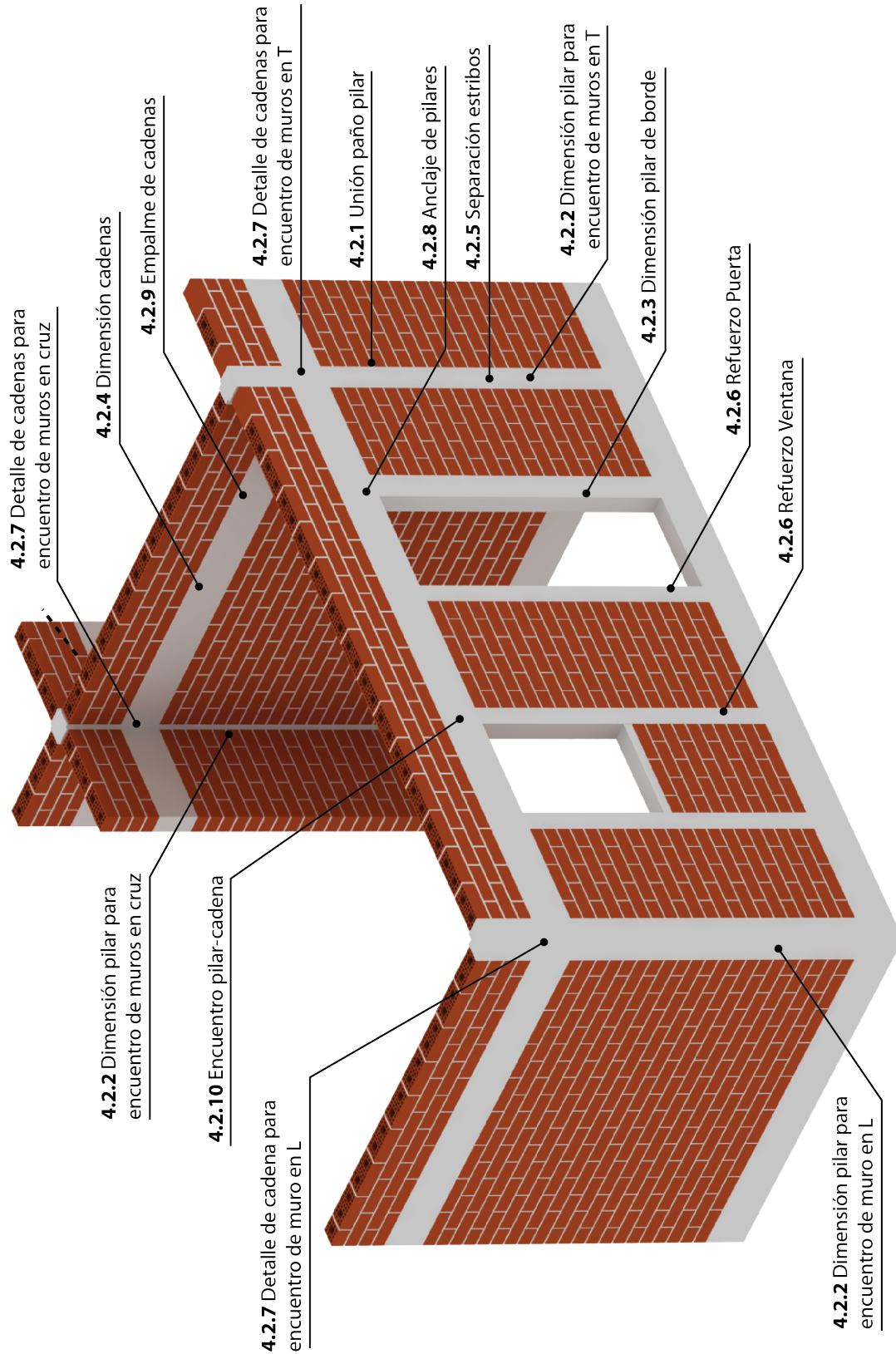


Figura 4.20: Identificación de los detalles seleccionados.

4.2.1. Unión entre paño de albañilería y el pilar de confinamiento

La unión entre el pilar de confinamiento y el paño de albañilería puede hacerse mediante un endentado o bien a través de conectores de acero (barras) que se ubican en las juntas horizontales de mortero y se anclan en los pilares de confinamiento del paño. Las figuras 4.21, 4.22 , 4.23 y 4.24 muestran el detalle de la unión entre el paño y el pilar de confinamiento para los casos de un pilar intermedio y de un pilar en encuentro de muros.

Para la determinación de los largos de desarrollo utilizados en las figuras 4.23 y 4.24 se utiliza la norma americana (MSJC, 2011) y la formular puede verse en el anexo A.

Ejemplos de daños debido a una mala ejecución de este detalle se mostraron en las figuras 3.11 y 3.12 de la sección de daños de la presente memoria.

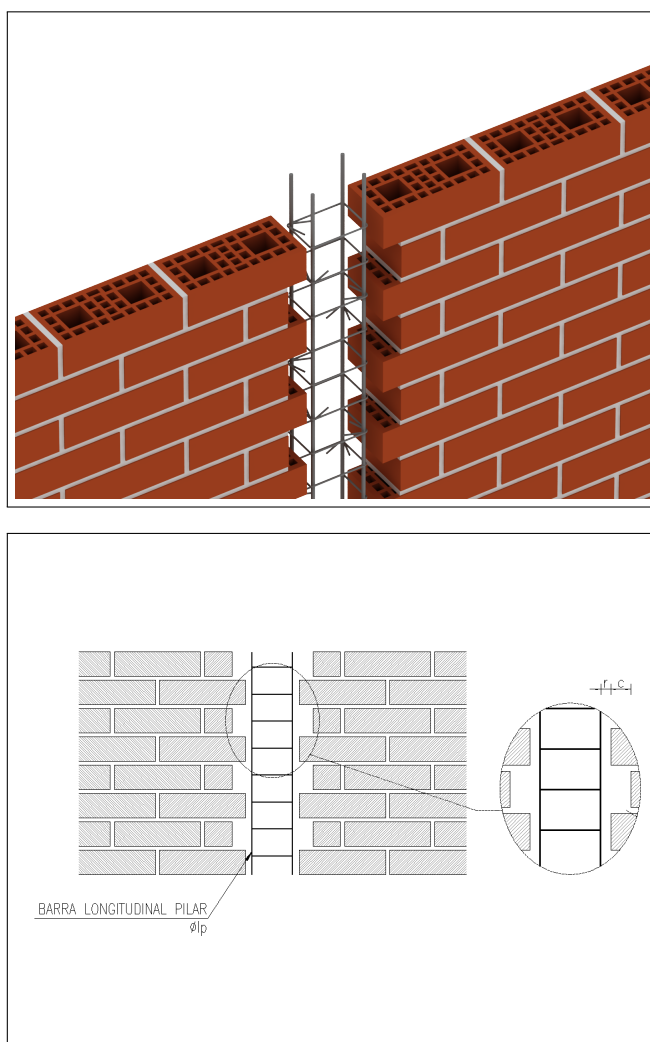


Figura 4.21: Detalle de la unión endentada entre el paño de albañilería y un pilar de confinamiento intermedio.

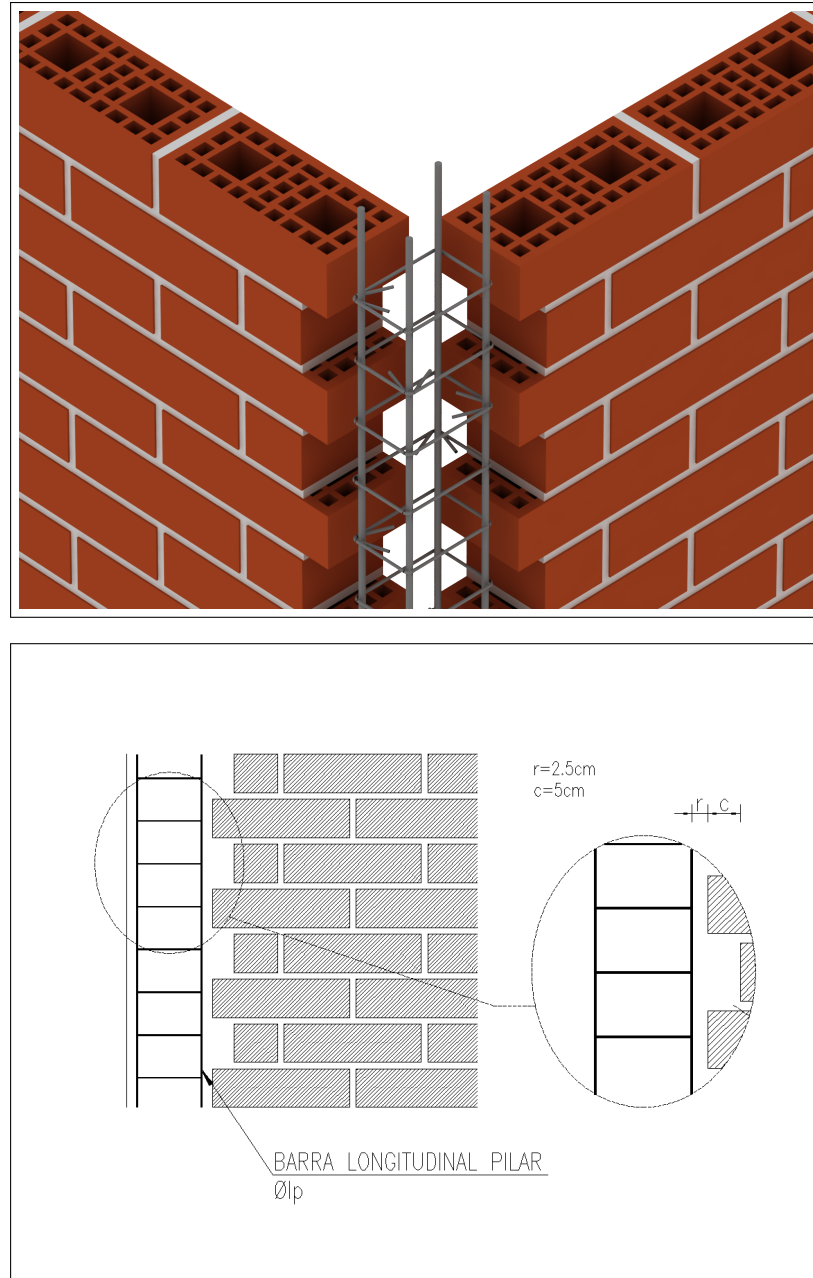


Figura 4.22: Detalle de la unión endentada entre el paño de albañilería y un pilar de confinamiento en el encuentro de muros.

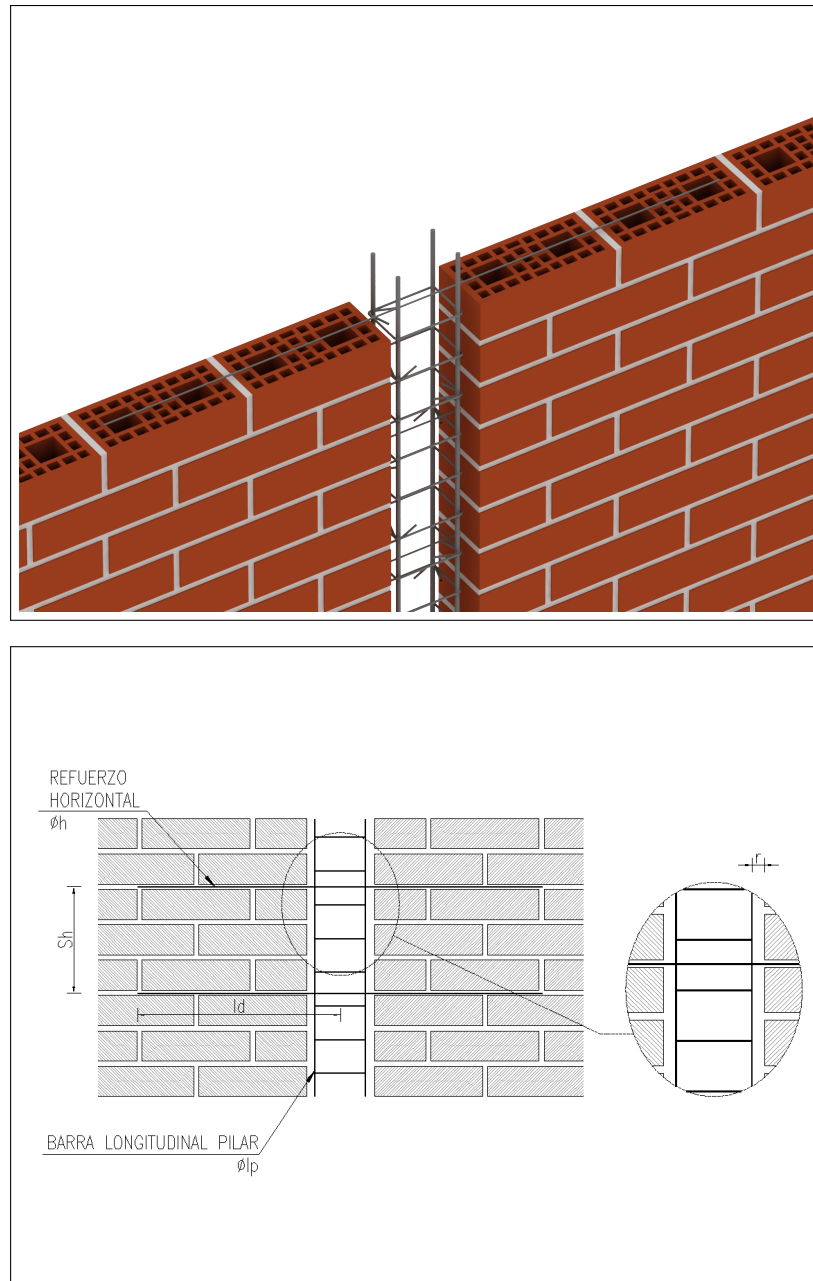


Figura 4.23: Detalle de la unión con conectores de acero entre el paño de albañilería y el pilar de confinamiento intermedio.

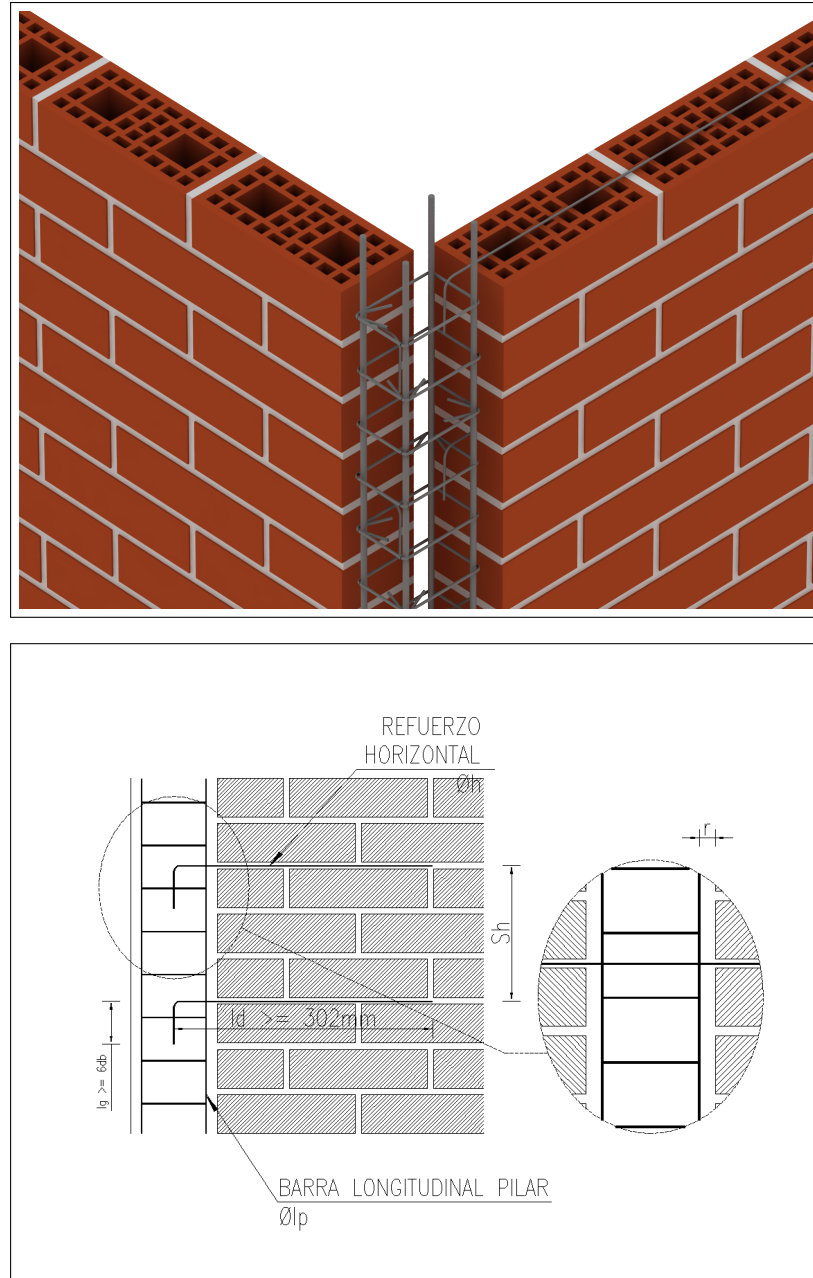


Figura 4.24: Detalle de la unión con conectores entre el paño de albañilería y un pilar de confinamiento en el encuentro de muros.

4.2.2. Dimensiones mínimas de los pilares de confinamiento

Los pilares de confinamiento deben tener una sección transversal con dimensiones que no pueden ser menores que los valores mínimos indicados en las normas de diseño y cálculo (INN, 2003b). El uso de estos valores puede evitar daños como los observados en las figuras 3.15 y 3.16, pilares cuyas dimensiones se encontraban por bajo las dimensiones mínimas que plantean las normas.

En las figuras 4.25 a 4.27 se muestran las dimensiones de la sección transversal de un pilar

de confinamiento para varias situaciones, correspondiendo el ancho del pilar (h_p) a la dimensión de la sección transversal del pilar medida en la dirección horizontal según el plano del paño de albañilería, y el espesor del pilar (b_p), a la dimensión medida perpendicularmente al plano del paño de albañilería y que por razones de construcción normalmente es igual al espesor del muro (t).

Como se muestra en las figuras 4.25, 4.26 y 4.27, los pilares que se ubican en el encuentro de muros, deben cumplir con el requerimiento de ancho mínimo en ambas direcciones principales de la sección transversal. Para cumplir esta condición la sección transversal del pilar tiene forma de L, T o cruz cuando el espesor del paño de albañilería es menor que el ancho mínimo del pilar, 20 cm según NCh2123 (INN, 2003b).

Como se muestra en la figura 4.25, en el encuentro de muros en T, la sección del pilar es en forma de T con un ancho igual al mínimo exigido por las normas de diseño y cálculo en ambas direcciones. En la dirección en que el pilar funciona como un pilar de borde libre, se propone reforzarlo como se muestra en la figura según lo indicado en 4.2.3.

En el caso del encuentro en cruz, la sección del pilar es en forma de cruz y el armado de los refuerzos de acero se ejecuta en la dirección del muro que esté más solicitado.

La elección de las dimensiones mostradas en las figuras 4.25, 4.26 y 4.27 se han hecho considerando que la falla de un pilar que funciona como pilar de borde libre puede ser crítica para la estabilidad del muro y para su capacidad de deformación una vez que se produce el agrietamiento diagonal del paño de albañilería, como se ha observado en las inspecciones de los daños producido por el terremoto del 27 de febrero de 2010.

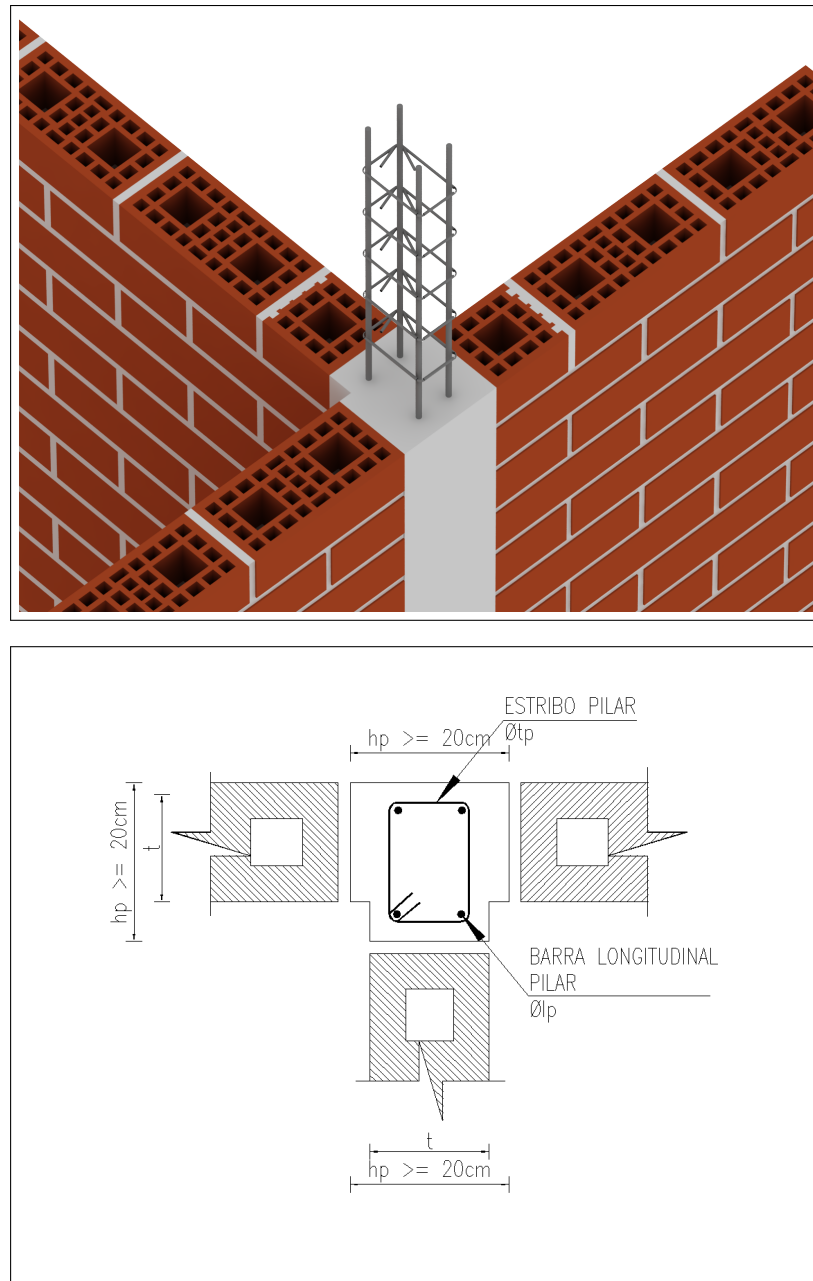


Figura 4.25: Dimensión mínima de un pilar para encuentro de muros en T y armado en la dirección donde actúa como pilar de borde libre

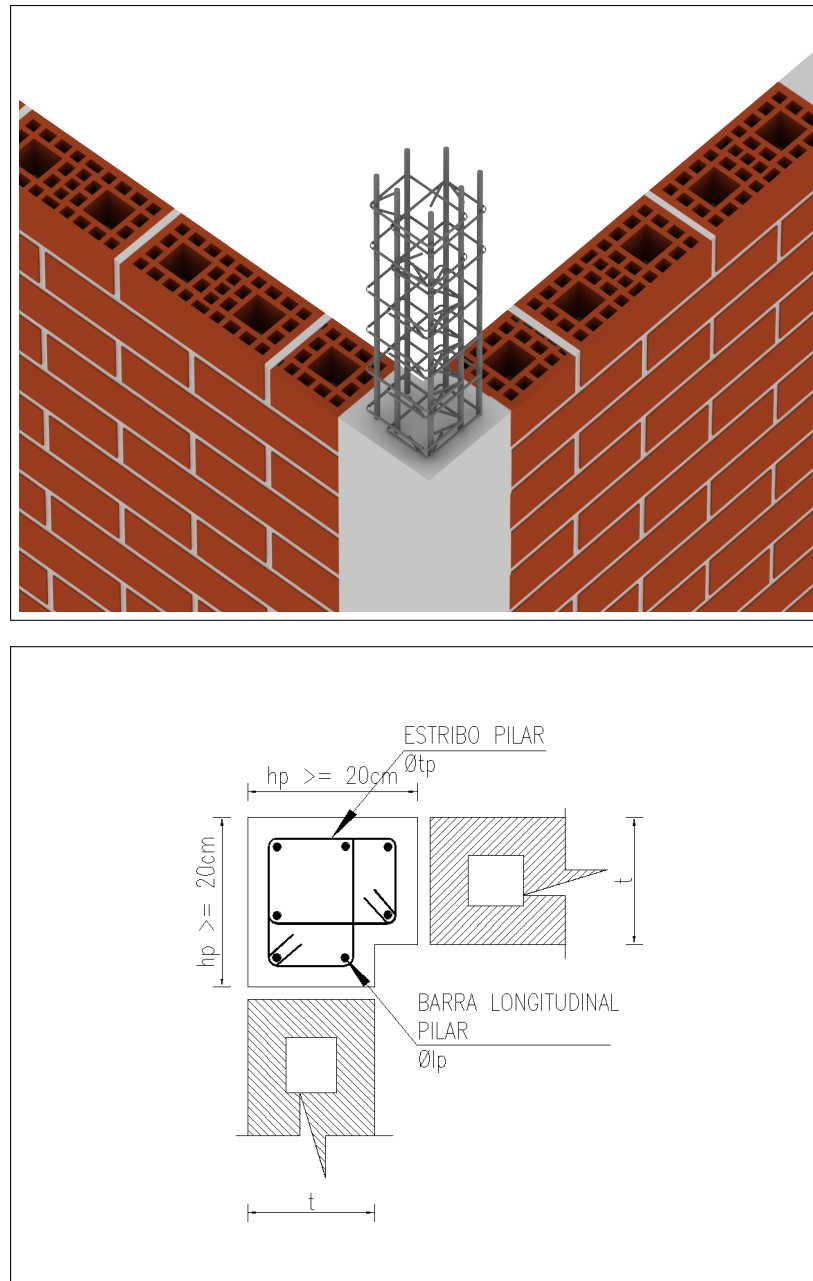


Figura 4.26: Dimensión mínima de un pilar para un encuentro de muros en L y armado considerando que en ambas direcciones actúa como pilar de borde libre

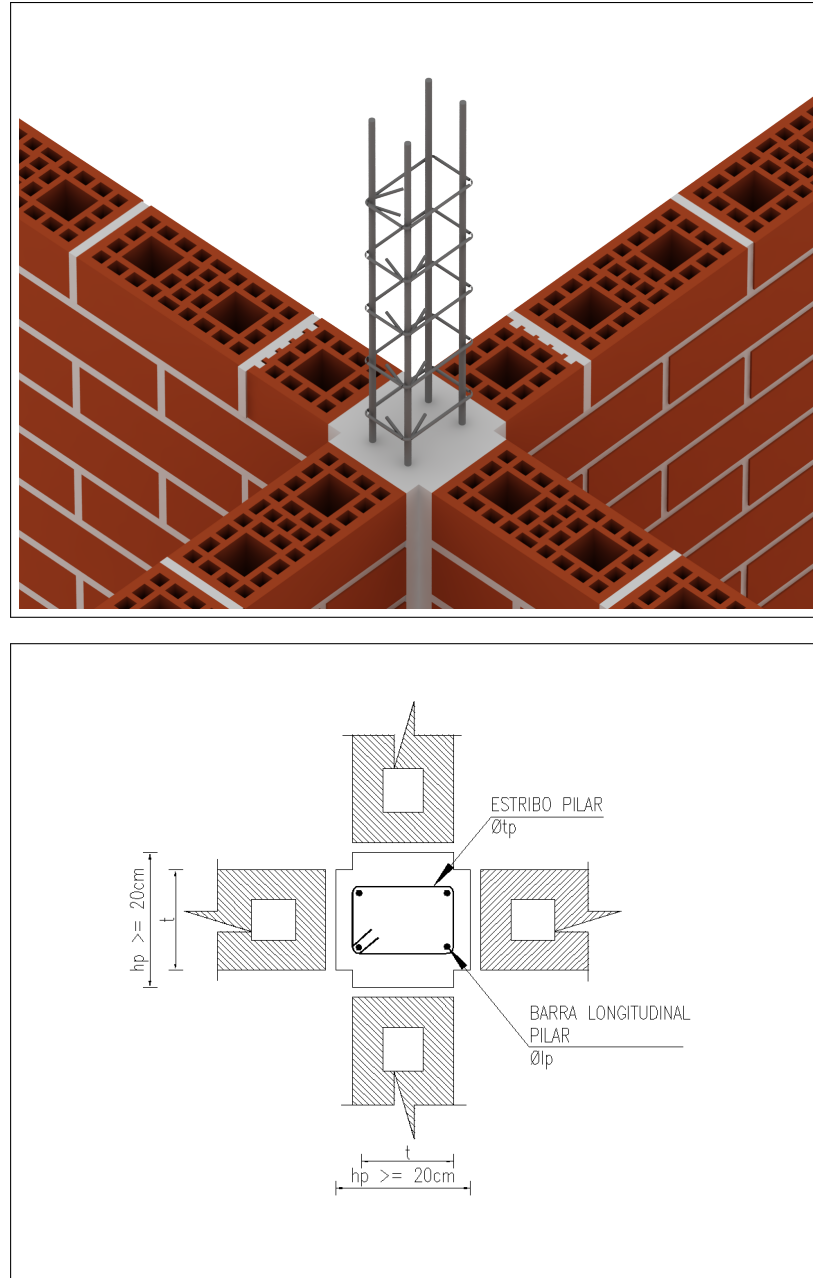


Figura 4.27: Dimensión mínima de un pilar para un encuentro de muros en Cruz y armado considerando que actúa como pilar de borde en la dirección mas débil

4.2.3. Dimensiones y refuerzos de un pilar de borde libre de un muro

El borde libre es el borde vertical de un paño de albañilería que no está restringido por otro elemento (paño de albañilería) en la dirección perpendicular al plano del paño. Con el propósito que el paño quede confinado, debe colocarse un pilar de confinamiento en este borde cuyo detallamiento se muestra en la figura 4.28. Las dimensiones que se muestran en la figura fueron determinadas por la norma NCh2123 (INN, 2003b).

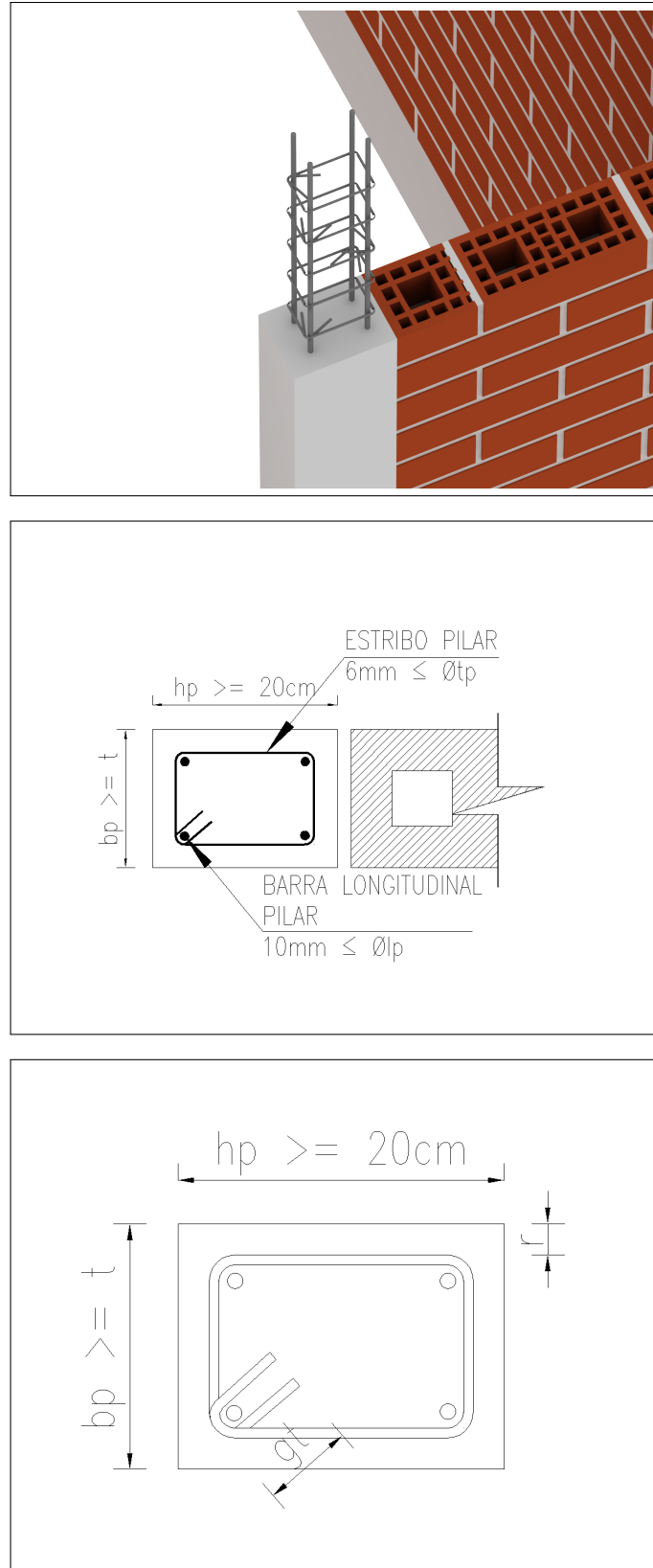


Figura 4.28: Dimensión mínima de un pilar de borde.

4.2.4. Dimensiones mínimas de las cadenas de confinamiento

Las cadenas de confinamiento deben tener una sección transversal cuyas dimensiones no pueden ser menor que los valores mínimos indicados en las normas de diseño y cálculo (INN, 2003b).

En la figura 4.29 se muestran las dimensiones de la sección transversal de una cadena de confinamiento correspondiendo el alto de la cadena (h_c) a la dimensión de la sección transversal medida en la dirección vertical según el plano del paño de albañilería, y el espesor de la cadena (b_c), a la dimensión medida perpendicularmente al plano del paño de albañilería. Por razones de construcción normalmente el espesor de la cadena es igual al espesor del muro (t) con la excepción de las cadenas ubicadas en pisos sin losas donde por necesidad de controlar las deformaciones fuera del plano de los paños de albañilería se debe aumentar las dimensiones de la sección transversal de la cadena, siendo más eficiente hacerlo por el espesor.

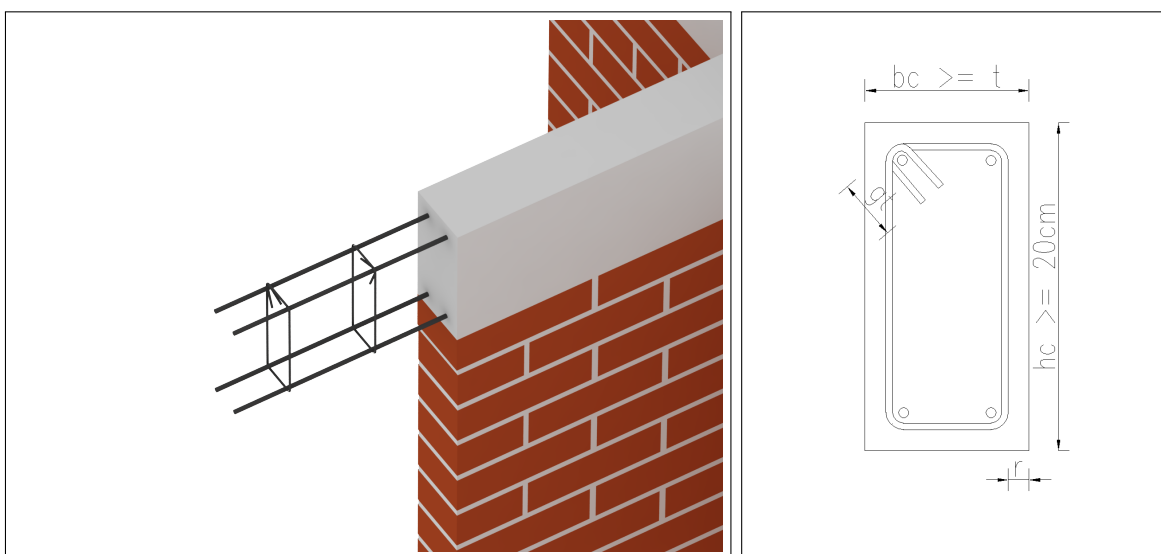


Figura 4.29: Dimensión mínima de una cadena de confinamiento.

4.2.5. Separación de los estribos de refuerzo en las zonas críticas de los pilares

Como se muestra en la figura 4.30, la separación entre los estribos en las zonas críticas de un pilar debe ser menor que en las zonas intermedias del pilar. Esto es debido a que en esas zonas se acumulan las mayores esfuerzos de corte de los pilares de confinamiento y para eso necesitan una mayor cantidad de estribos para resistirlo. En la figura se muestra lo que plantea la norma NCh2123 (INN, 2003b) para estas zonas y algunas recopilaciones de manuales (AIS, 2002).

En el capítulo de daños se pudo apreciar que con separaciones insuficientes de los estribos en las zonas críticas pueden ocasionarse daños considerables como el que se muestra en la figura 3.23.

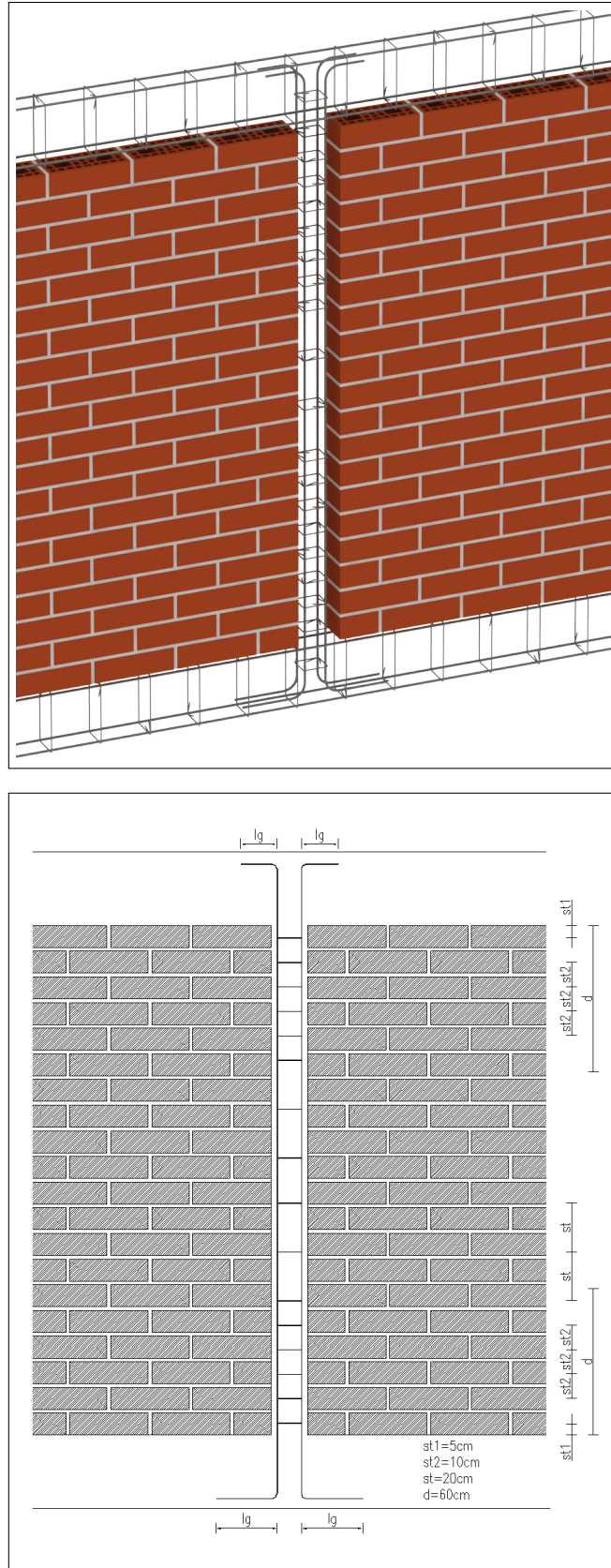


Figura 4.30: Separación de los estribos de refuerzo en las zonas críticas de un pilar de confinamiento

4.2.6. Refuerzo de aberturas

Una abertura es una perforación en un paño de albañilería producida por la existencia de una pasada de un ducto o por la presencia de una ventana o una puerta. En el caso de una ventana, debe cumplirse que la altura entre el nivel superior del piso y el borde inferior de la abertura debe ser igual o mayor que el 30 % de la altura del entrepiso.

4.2.6.1. Refuerzo en puertas

Para el caso de puertas, al existir un borde libre a ambos lados de la abertura siempre debe haber un pilar de confinamiento con las dimensiones mínimas requeridas para éstos. La figura 4.31 muestra donde se debe colocar el pilar de confinamiento.

Un mal resultado de falta de pilar de confinamiento puede verse en el capítulo de daños, específicamente en la figura 3.14.

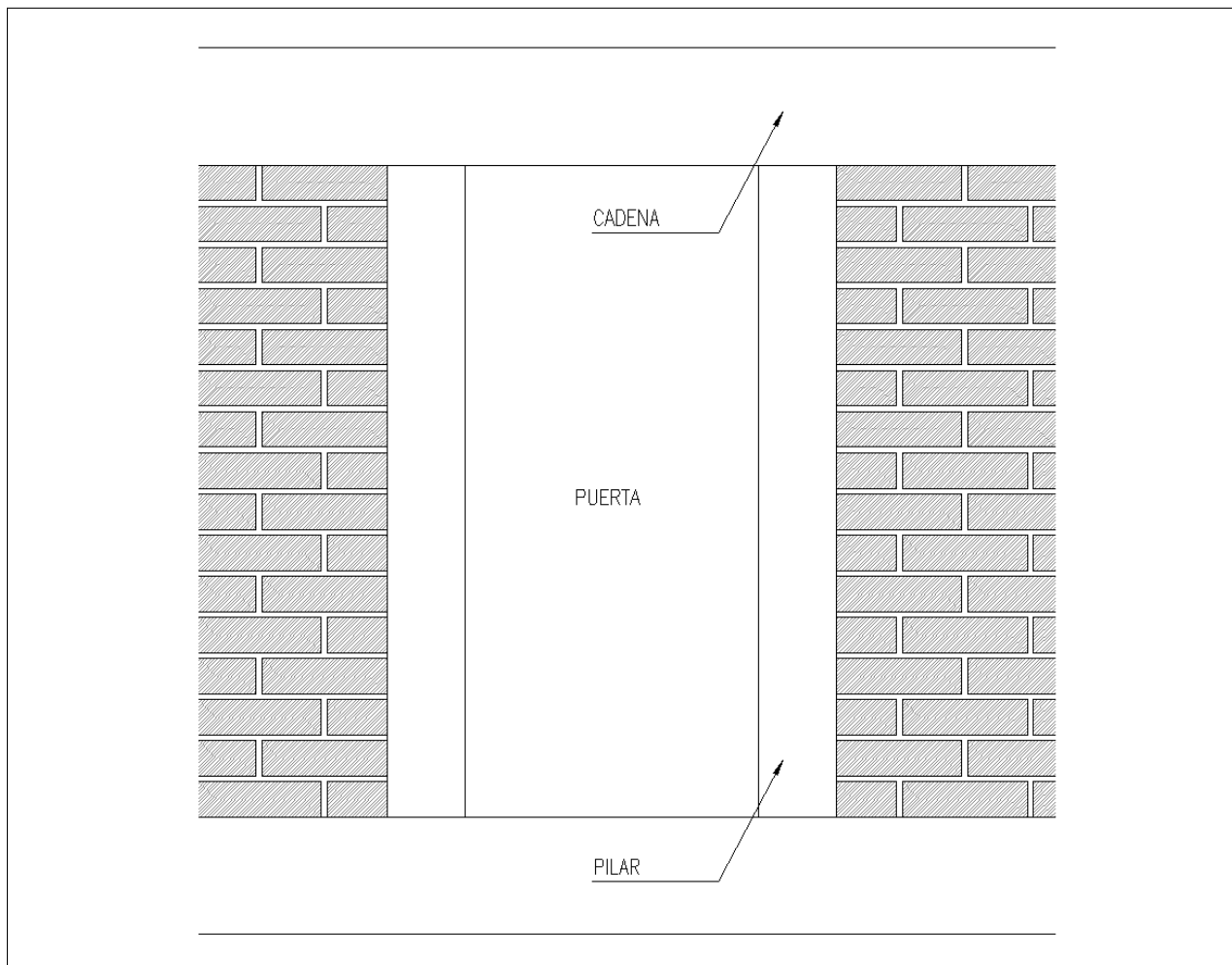


Figura 4.31: Refuerzo de una abertura de puerta con pilares de hormigón armado

4.2.6.2. Refuerzo de aberturas de ventanas

Para los refuerzos de las aberturas de ventanas, existen dos posibilidades. El uso de cada una de ellas depende del tamaño de la abertura según lo que plantea la norma NCh2123 (INN, 2003b).

La primera posibilidad de detallamiento de aberturas en ventanas es con barras incluidas en el paño de albañilería similar a lo que se usa en los muros de albañilería armada. Esta alternativa se muestra en la figura 4.32

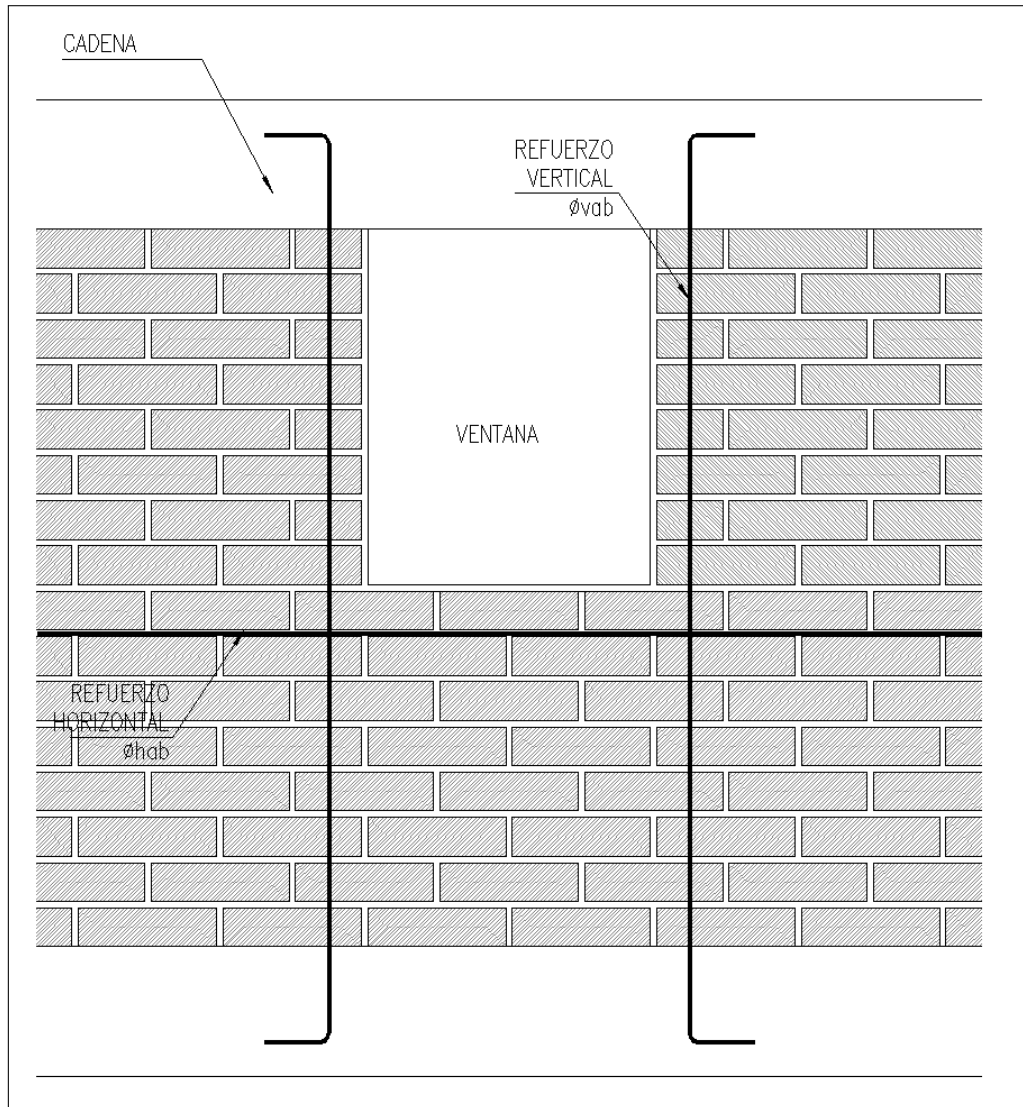


Figura 4.32: Refuerzo de una abertura con barras incluidas en los huecos de las unidades y en las juntas horizontales de mortero.

La segunda posibilidad es la misma que se plantea para abertura de puertas, con un pilar de confinamiento respetando las dimensiones mínimas para éste y una cadeneta en el antepecho de la ventana. Esta opción se muestra en la figura 4.33. La opción de la cadeneta no se plantea

directamente en la norma NCh2123 sino que es una opción planteada por manuales (Schacher, 2006) que ha traído buenos resultados y por esta razón se incluye.

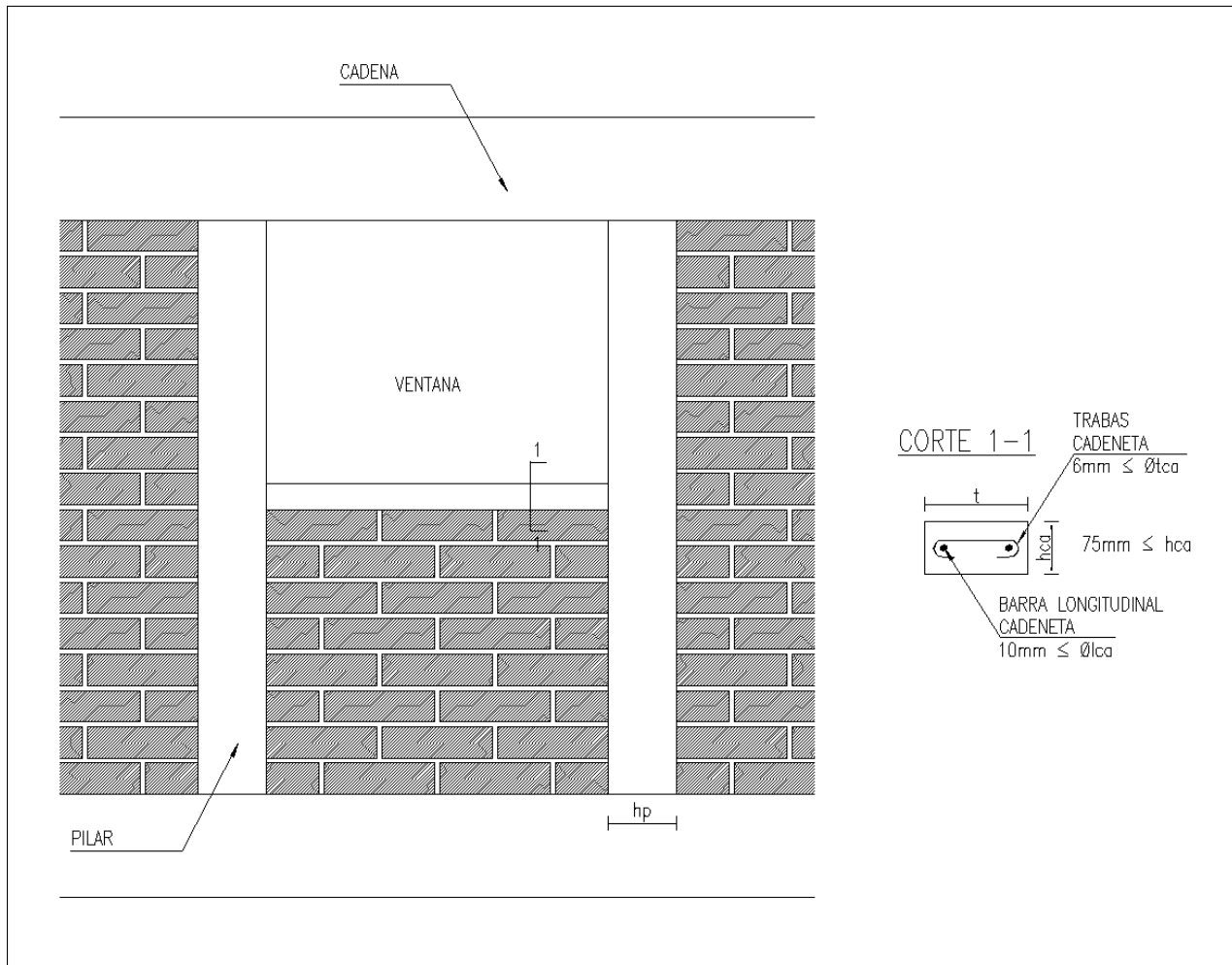


Figura 4.33: Refuerzo de una abertura con pilares de confinamiento y cadeneta

4.2.7. Refuerzo longitudinal en el encuentro de pilares y cadenas de confinamiento

En el encuentro de paños de albañilería se debe colocar un pilar de confinamiento, el que junto con las cadenas que concurren al encuentro genera la necesidad de detallar la forma en que se anclan y empalman las barras longitudinales en esta zona.

Con el propósito de entregar soluciones para el detallamiento de estas barras de refuerzo se identifican dos situaciones: cuando el pilar continúa más allá del nivel donde se ubican las cadenas y cuando el pilar de confinamiento no continúa. Estas alternativas se identifican como Caso A y Caso B en las figuras.

Las soluciones propuestas se han desarrollado considerando como hipótesis de trabajo que se debe evitar, en la medida que se pueda, anclar o empalmar las armaduras longitudinales de los elementos de confinamiento en la zona del nudo de encuentro de cadenas y pilar, incluyendo en ella las zonas críticas de los elementos de confinamiento. Aceptando lo anterior, las soluciones propuestas privilegian que las barras longitudinales se empalmen, si es necesario, a media luz de la cadena o a media altura del pilar.

Además al desarrollar las soluciones se han considerado lo indicada en el punto 4.2.4 y las soluciones propuestas en el medio local como son las recomendadas por el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile en el documento "Autoconstrucción en albañilería" (www.viviendasolida.cl) y en el Manual de Detallamiento para Elementos de Hormigón Armado (ICH, 2009).

4.2.7.1. Encuentro de muros en T

Para el caso de encuentro de muros en T se debe priorizar que la cadena sobre el muro continuo sea continua y la cadena sobre el muro perpendicular que termina, doble sus barras longitudinales dentro de la cadena ubicada sobre el muro continuo de manera de tener un anclaje en ésta. La situación descrita se muestra en las figuras 4.34 y 4.35.

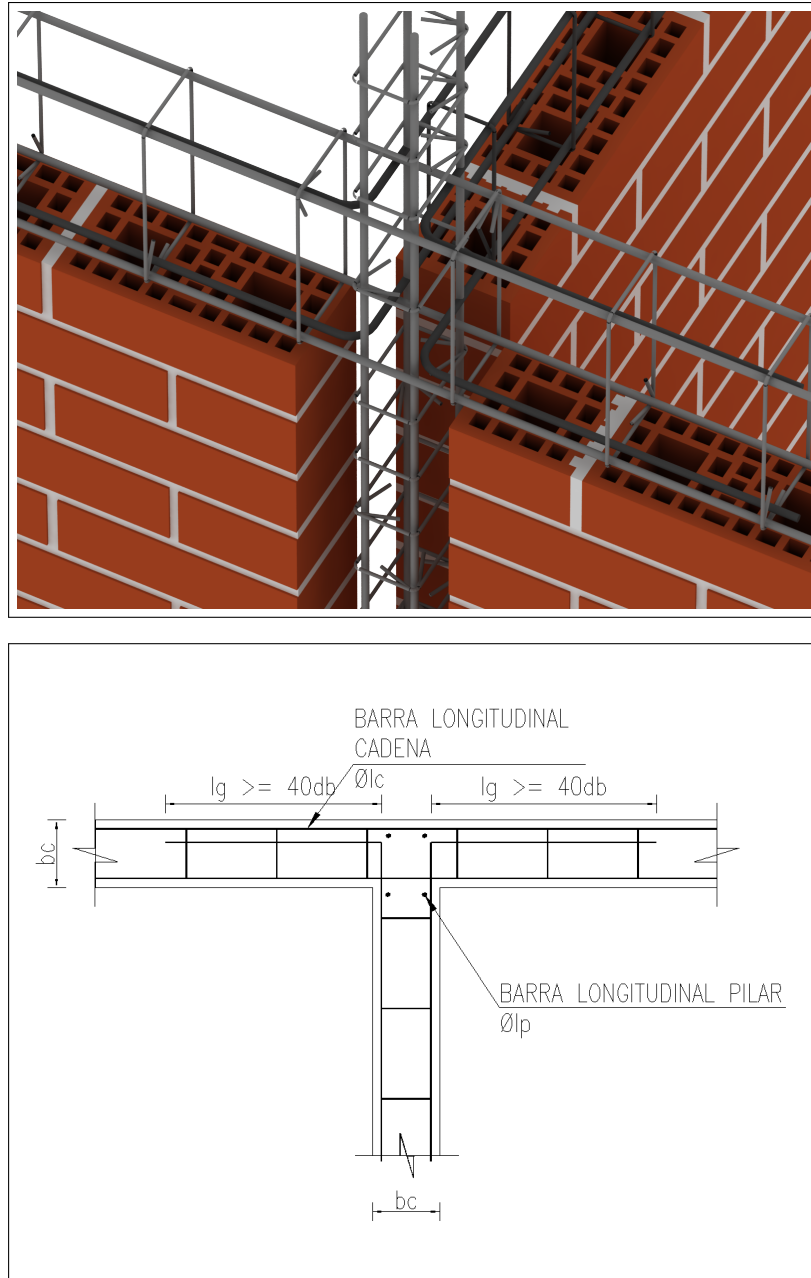


Figura 4.34: Detalle de barras longitudinales de cadenas de confinamiento en encuentro de muros en T. Caso A

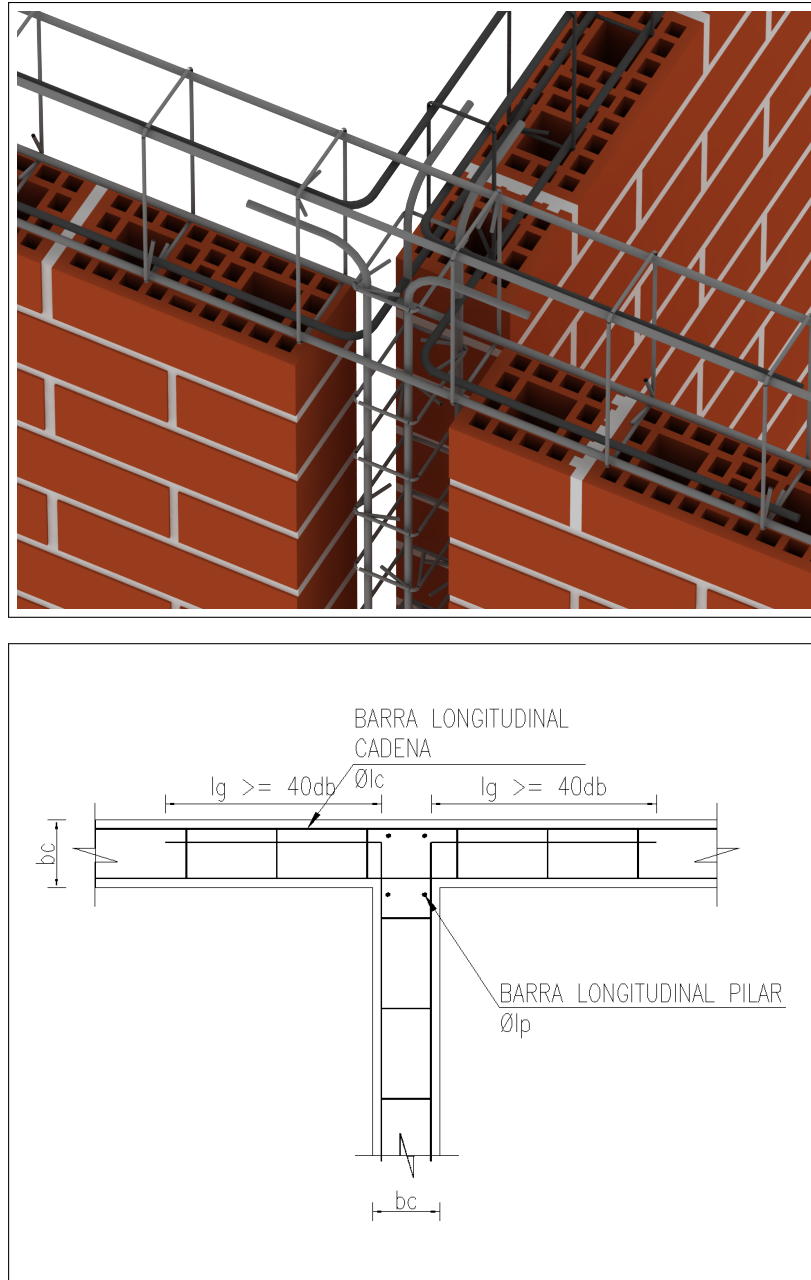


Figura 4.35: Detalle de barras longitudinales de cadenas de confinamiento en encuentro de muros en T. Caso B

4.2.7.2. Encuentro de muros en L

Para el caso de encuentro de muros en L, ambas cadenas deben doblar sus barras longitudinales de manera de asegurar un buen anclaje de ellas como se muestra en las figuras 4.36 y 4.37.

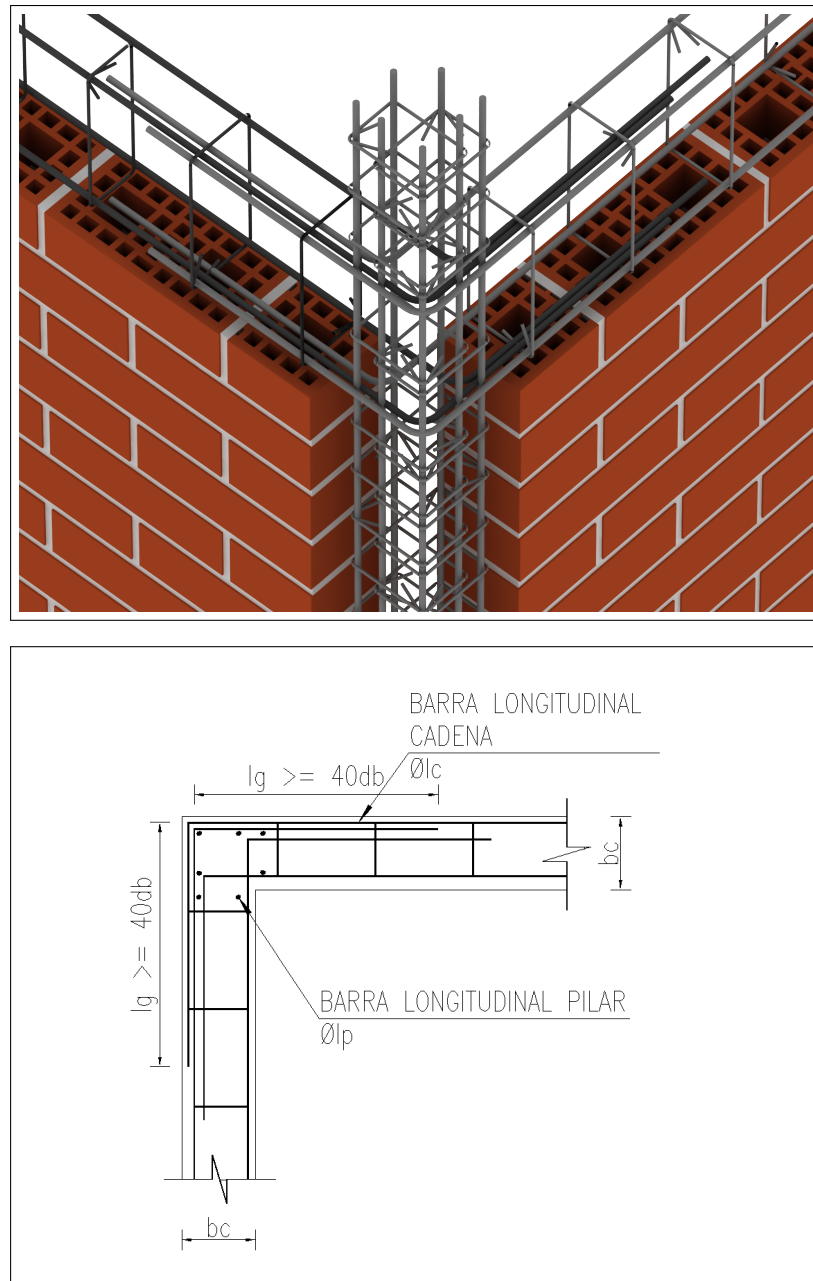


Figura 4.36: Detalle de barras longitudinales de cadenas de confinamiento en encuentro de muros en L. Caso A

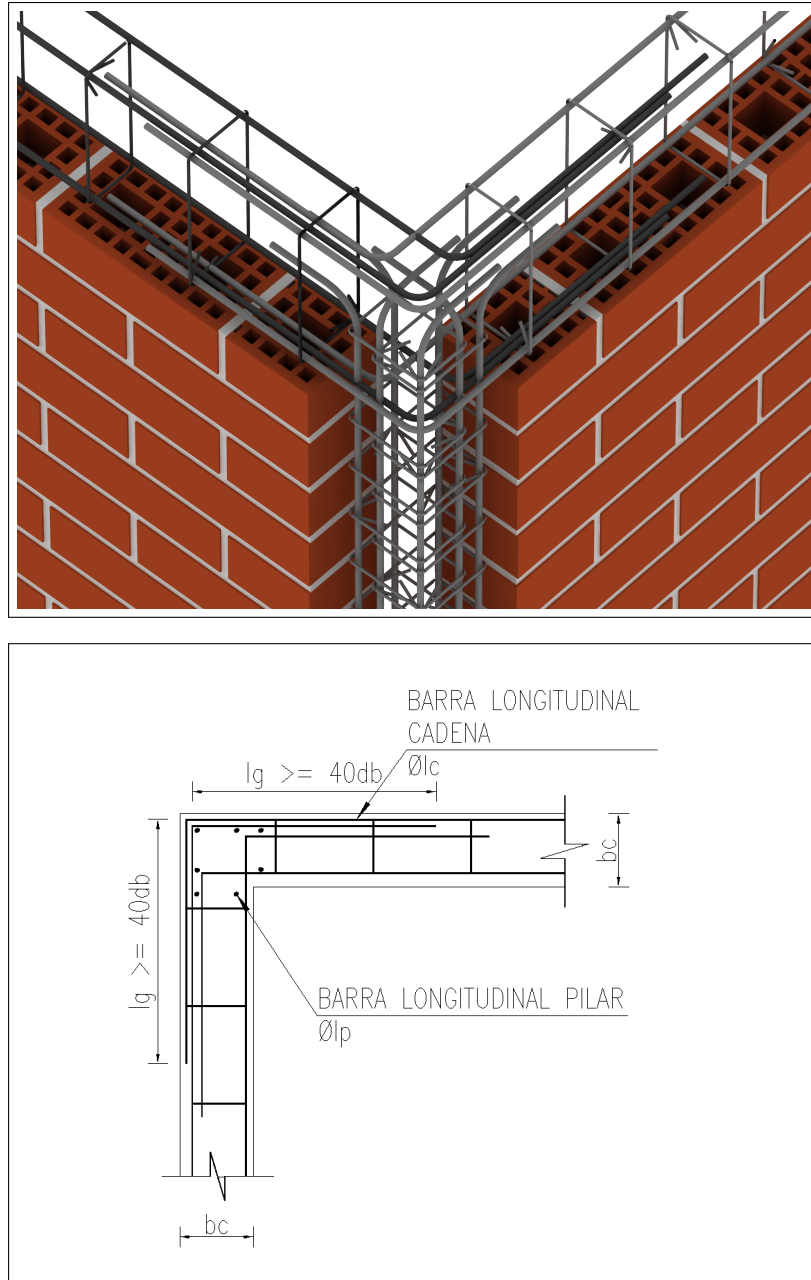


Figura 4.37: Detalle de barras longitudinales de cadenas de confinamiento en encuentro de muros en L. Caso B

4.2.7.3. Encuentro de muros en Cruz

Para el caso de encuentro de muros en cruz debe realizarse el encuentro de las barras longitudinales como se muestra en las figuras 4.38 y 4.39 .

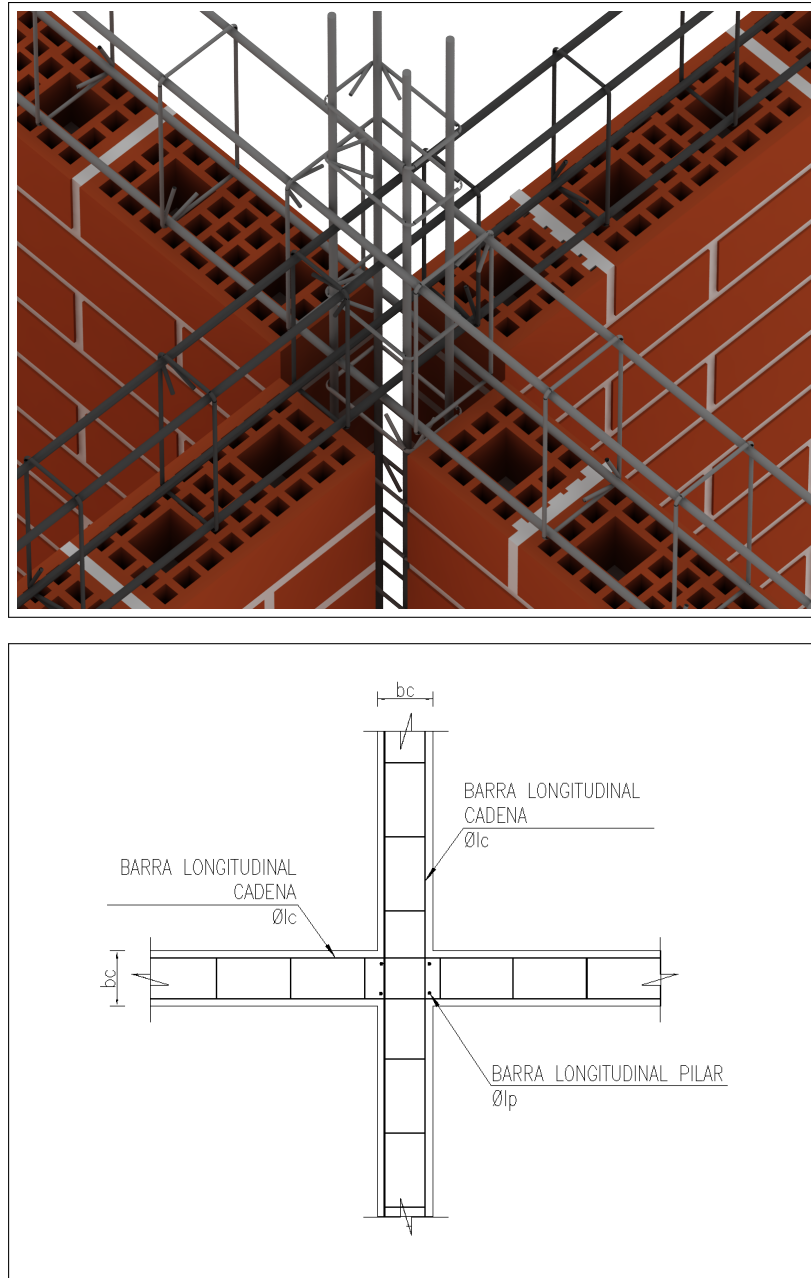


Figura 4.38: Detalle de barras longitudinales de cadenas de confinamiento en encuentro de muros en Cruz. Caso A

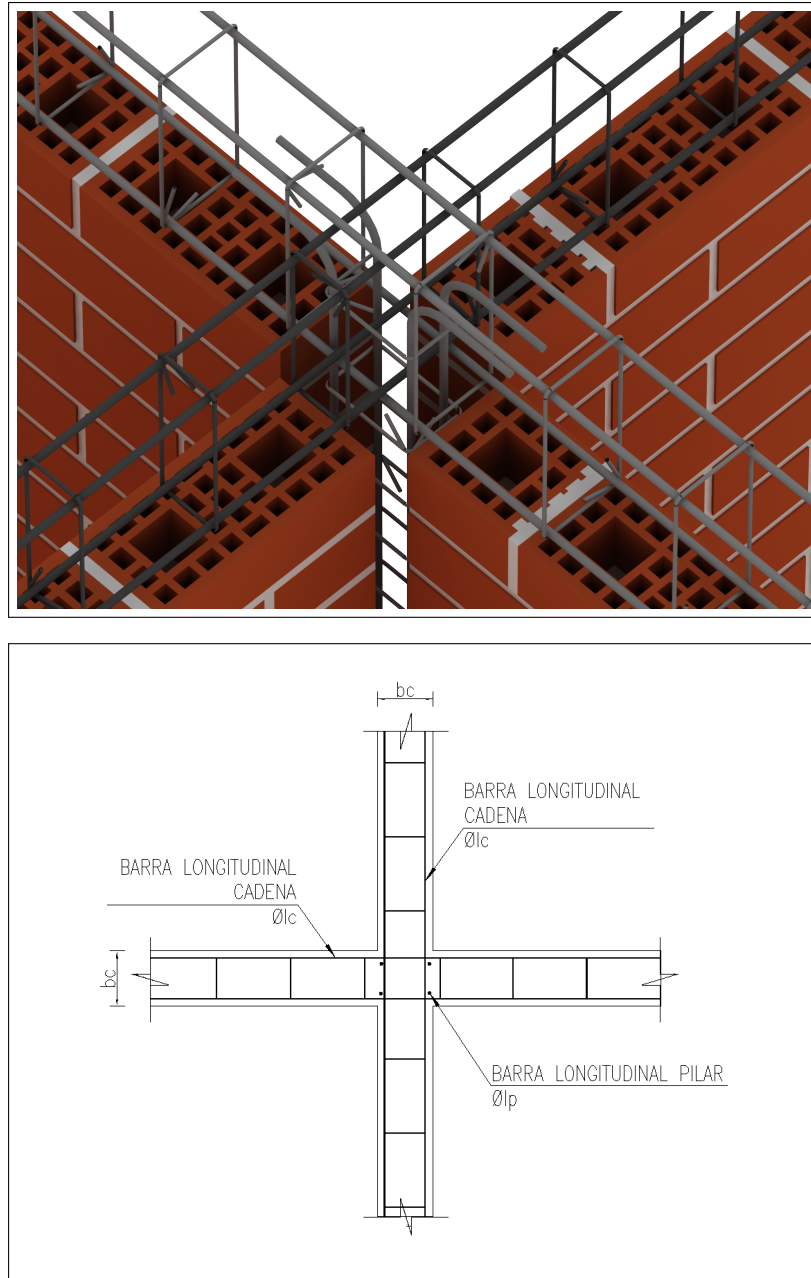


Figura 4.39: Detalle de barras longitudinales de cadenas de confinamiento en encuentro de muros en Cruz. Caso B

4.2.7.4. Anclaje de las barras longitudinales de los pilares en los encuentros de cadenas

Las barras longitudinales de los pilares de confinamiento en el caso de que éste termine en la cadena (Caso B) deben anclarse con un gancho como se muestran en la figura 4.40. En el caso en que el pilar siga más allá de la cadena, las barras deben continuarse y empalmar a mediana altura.

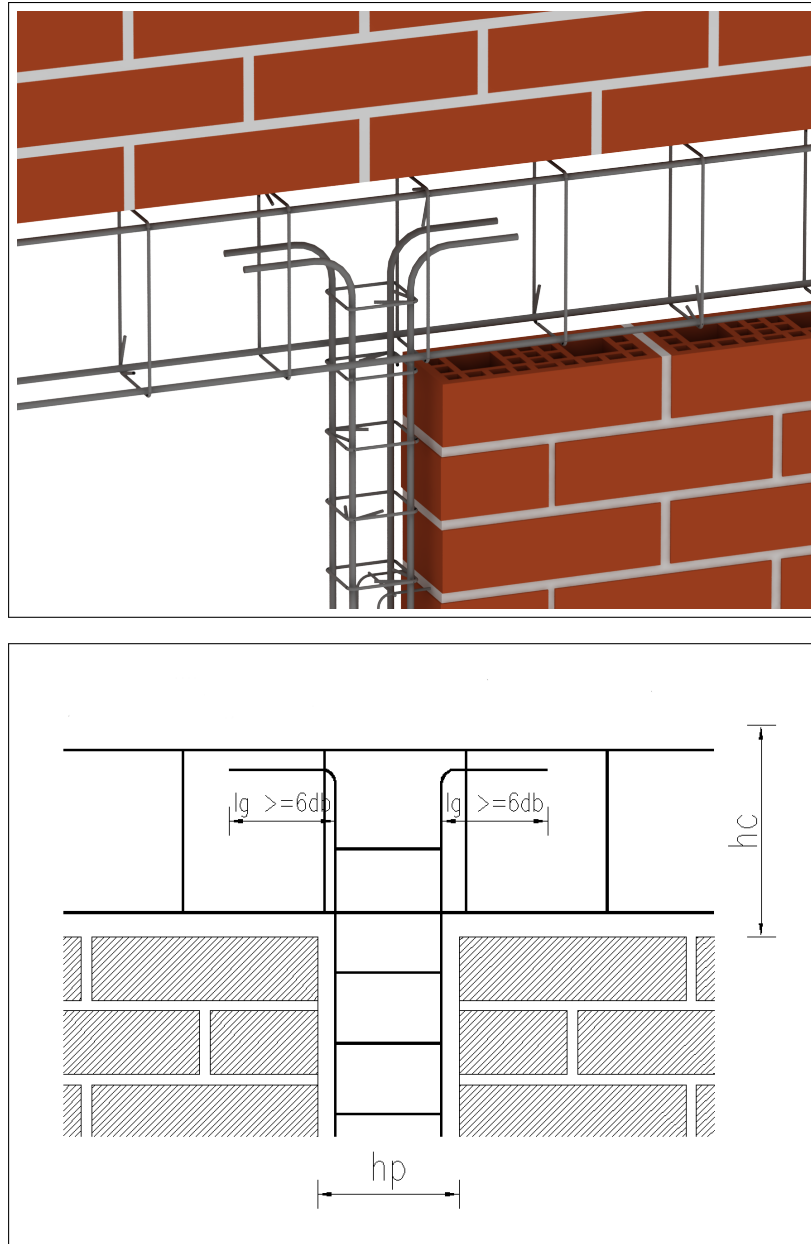


Figura 4.40: Detalle del anclaje de las barras longitudinales del pilar de confinamiento. Caso B

4.2.8. Empalme de las barras longitudinales de los pilares o cadenas de confinamiento

Como se mencionó anteriormente, los empalmes de las barras longitudinales de pilares y cadenas deben hacerse a media altura en el caso de pilares y en el centro de los muros en el caso de cadenas. En la figura 4.41 se muestra la manera de realizar este empalme.

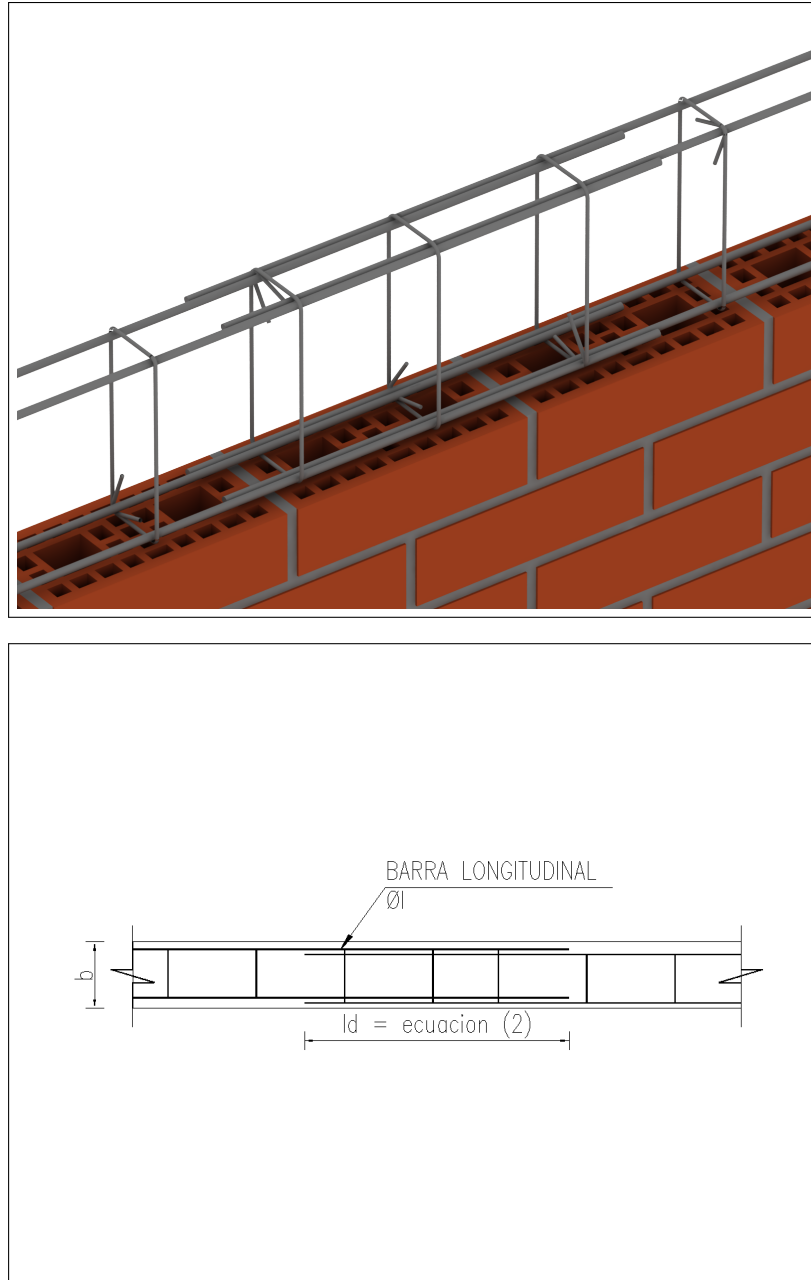


Figura 4.41: Detalle de empalme de barras longitudinales de cadenas y pilares de confinamiento

4.2.9. Refuerzo del nudo de encuentro de cadenas y pilares

Los encuentros entre pilares y cadenas deben realizarse de manera que las barras longitudinales del pilar pasen por dentro de las barras longitudinales de la cadena de confinamiento, como se muestra en la figura 4.42, para evitar que se produzca lo mostrado en las figuras 3.18 y 3.19. Por otro lado debe colocarse un refuerzo adicional para confinar el hormigón en la zona del nudo.

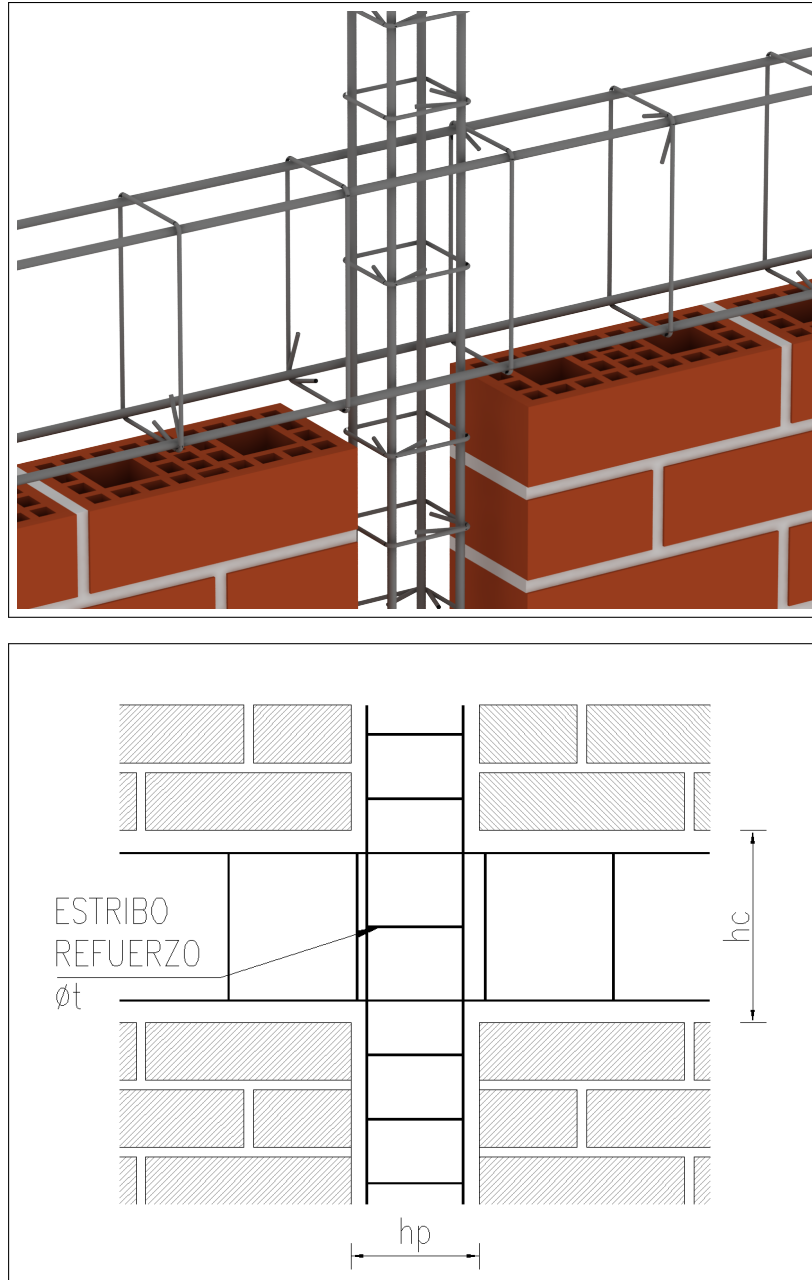


Figura 4.42: Detalle del refuerzo en la zona del nudo de encuentro cadena-pilar

4.3. Detalles alternativos

En esta sección se muestran algunos detalles que si bien las normas NCh2123 y NCh1928 no plantean como necesarios pueden ser útiles para los próximos estudios sobre detallamiento en albañilería reforzada.

4.3.1. Albañilería de bloques de hormigón

Para este tipo de albañilería se muestran sólo algunos detalles en el encuentro de muros.

Estos detalles se basan en el supuesto que exista un relleno total de huecos y que los bloques de hormigón tienen la forma que permite la disposición de las armaduras horizontales como se muestra en las figuras 4.43 y 4.44.

4.3.1.1. Encuentro de muros en T

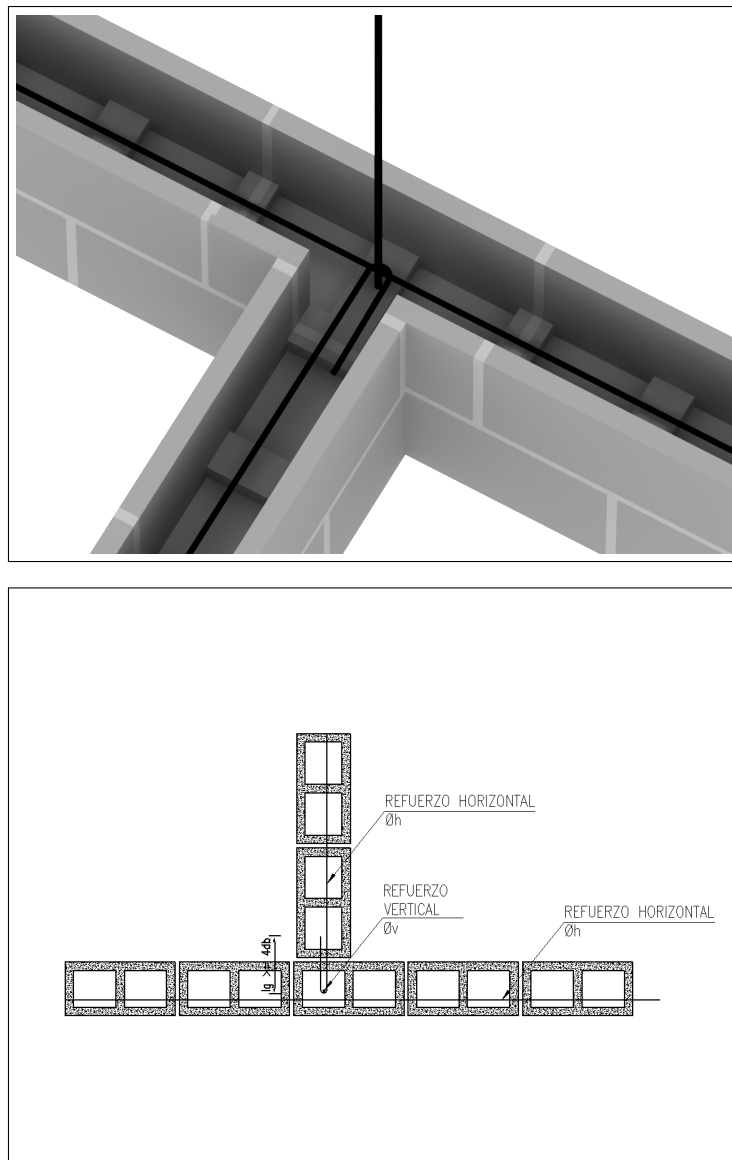


Figura 4.43: Detalle de las barras de refuerzo horizontal en el encuentro de muros en T.

4.3.1.2. Encuentro de muros en L

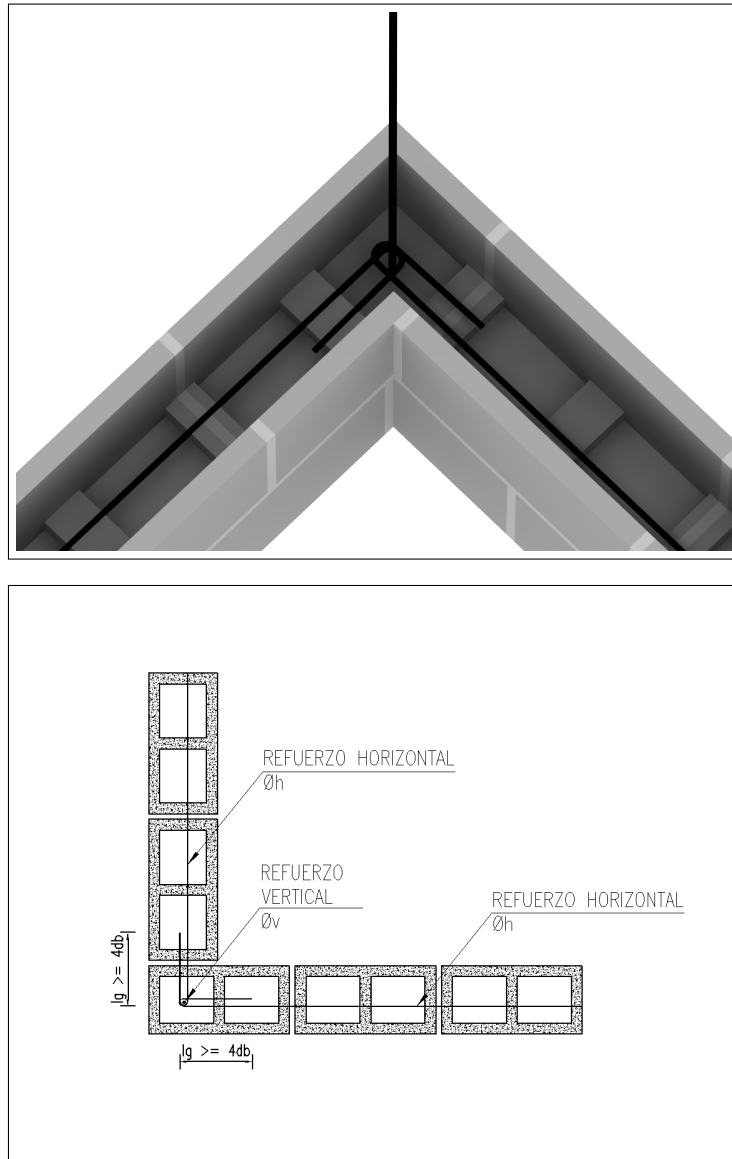


Figura 4.44: Detalle de las barras de refuerzo horizontal en el encuentro de muros en L.

4.3.2. Refuerzos en tímpanos de albañilería confinada

Los tímpanos comúnmente no se refuerzan pero esto ha traído muy malas consecuencias por lo que en la figura 4.45 se muestra una solución para confinar los tímpanos de estructuras de albañilería confinada.

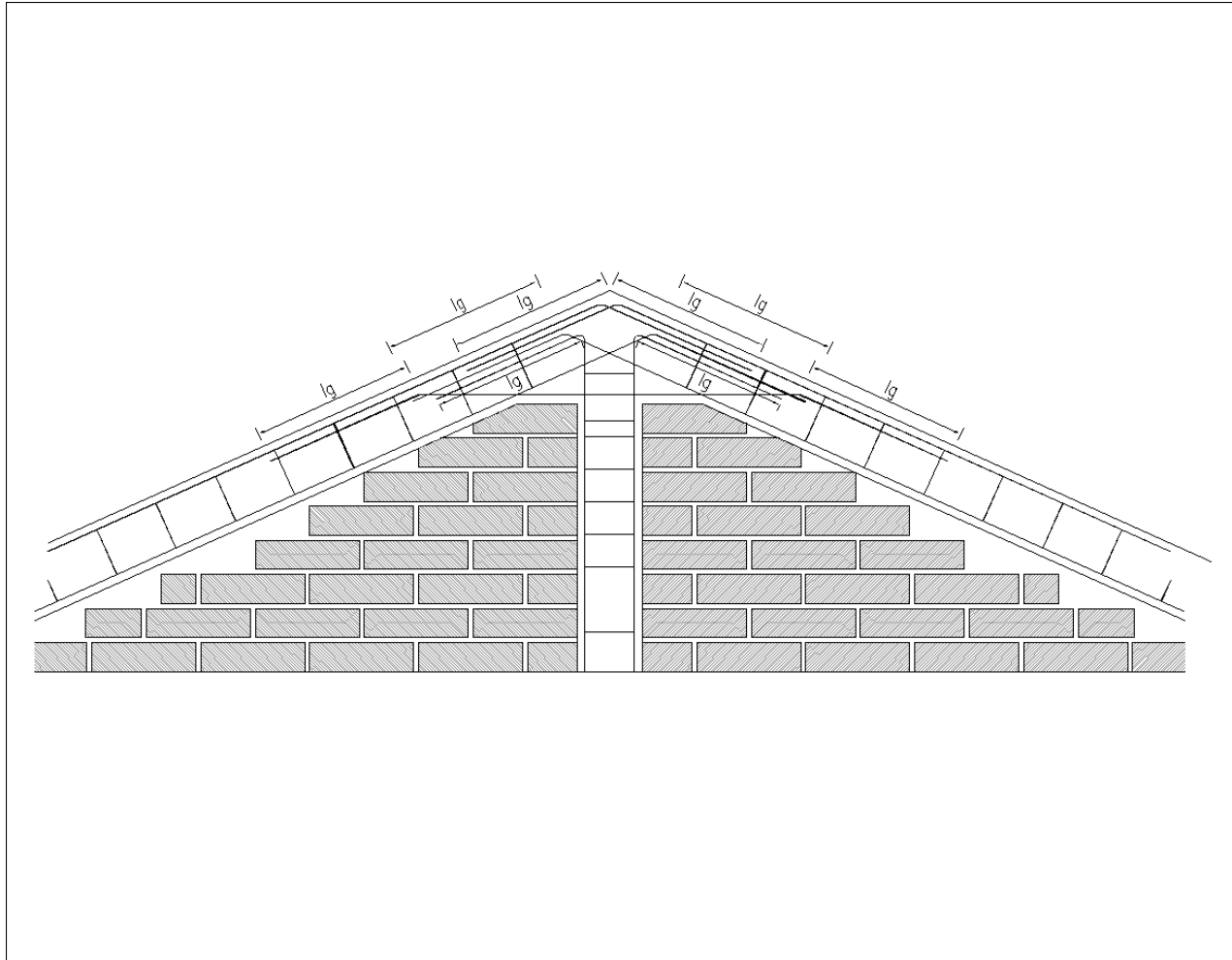


Figura 4.45: Detalle de refuerzos de un tímpano de albañilería

4.3.3. Refuerzos horizontales (escalerillas) en el interior del paño de albañilería confinada

En la figura 4.46 se muestra la distribución de las barras de refuerzo horizontal (escalerillas) a lo alto del paño de albañilería. Aunque la norma chilena para muros de albañilería confinada no contempla el uso de este tipo de refuerzo, se requieren antecedentes relacionados con su detallamiento ya que este tipo de refuerzo se ha ido introduciendo en las normas más modernas de diseño y cálculo de muros de albañilería confinada para aumentar la capacidad resistente al corte de estos muros, entre otros objetivos.

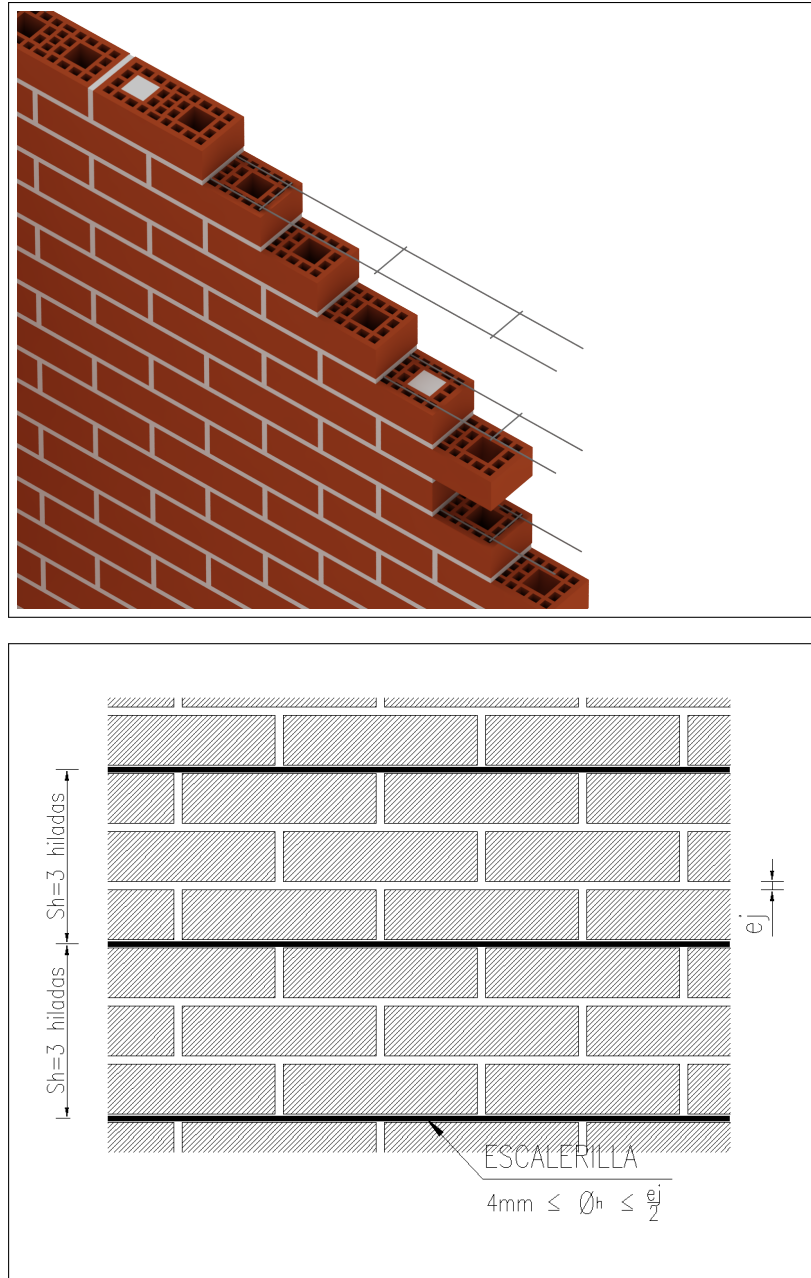


Figura 4.46: Distribución de las barras de refuerzo horizontal (escalerillas) a lo alto de un paño de albañilería

4.3.4. Detallamiento del refuerzo horizontal del paño de albañilería en el encuentro de muros

Con la incorporación de escalerillas como refuerzo de los paños de albañilería, es necesario entregar el detallamiento de estos refuerzos.

4.3.4.1. Encuentro de muros en T

Para puros en T las escalerillas del muro que no continua se doblan en el pilar de confinamiento, penetrando $\frac{1}{3}$ de la sección del pilar ($\frac{h_p}{3}$), como se muestra en la figura 4.47.

En el caso del muro que continua se debe colocar una escalerilla continua en la zona del encuentro. En la figura esta se muestra con línea punteada, pues al igual que en albañilería armada los refuerzos horizontales se ubican en hiladas distintas.

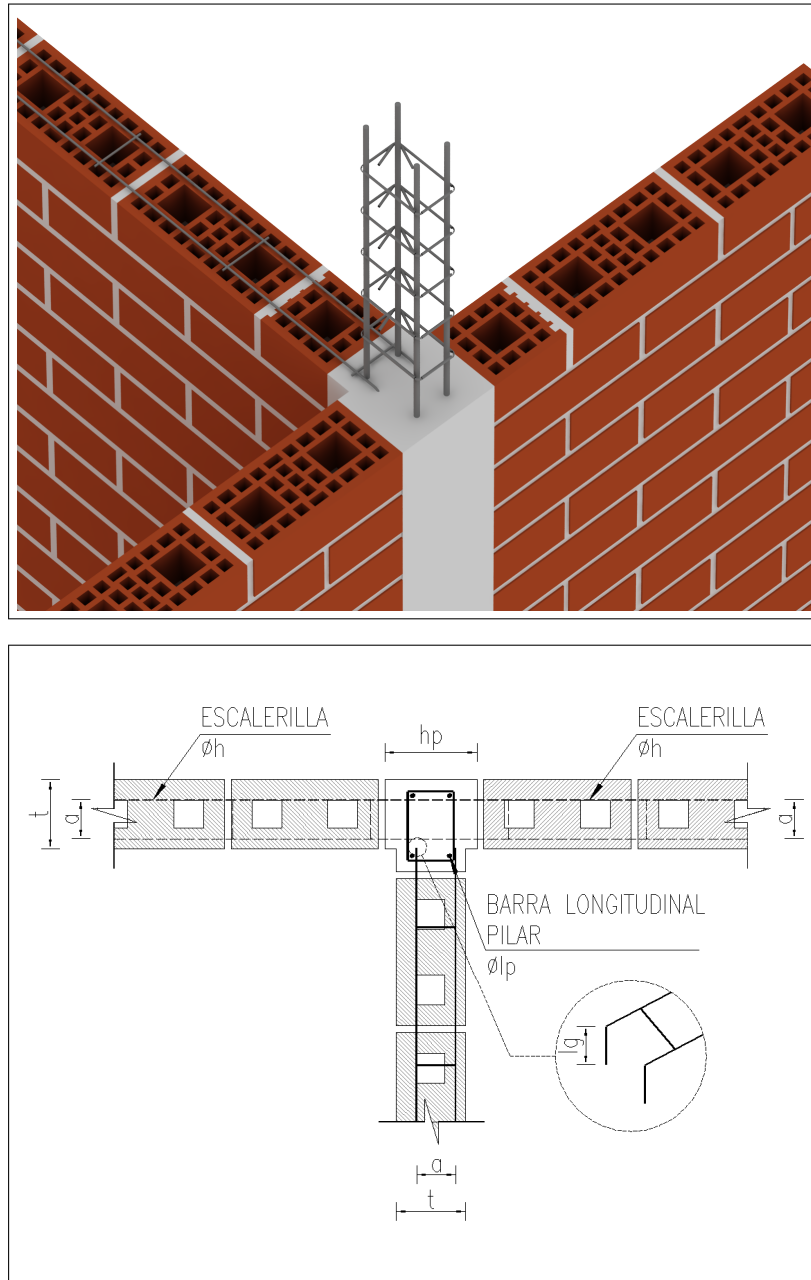


Figura 4.47: Detalle de las escalerillas para el encuentro de muros en T

4.3.4.2. Encuentro de muros en L

Al igual que en el caso del encuentro de muros en T las escalerillas se doblan en el pilar de confinamiento como se muestra en la figura 4.48, penetrando $\frac{1}{3}$ de la sección del pilar ($\frac{h_p}{3}$).

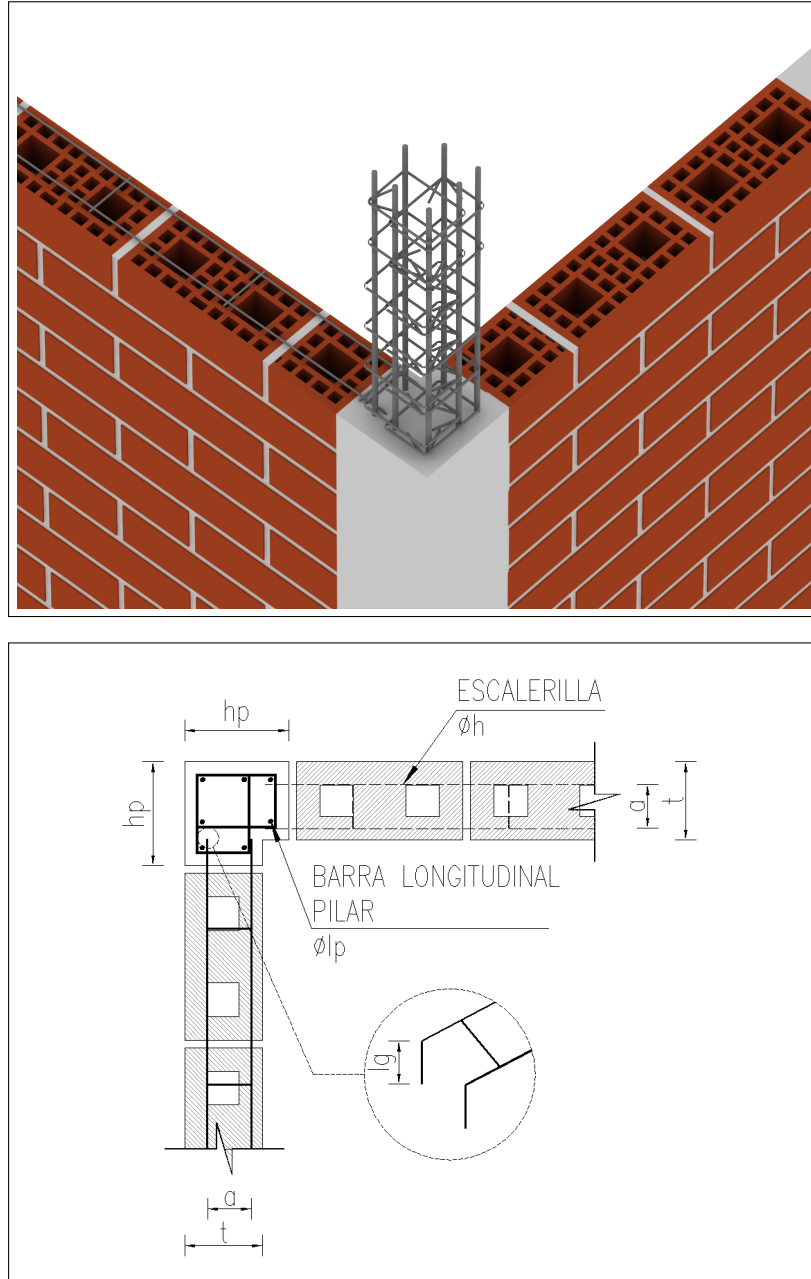


Figura 4.48: Detalle de las escalerillas para el encuentro de muros en L

4.3.4.3. Encuentro de muros en Cruz

Para el caso del encuentro de muros en Cruz las escalerillas cruzan en forma continua en ambos muros, ubicándose en hiladas distintas. Esta solución se muestra en la figura 4.49.

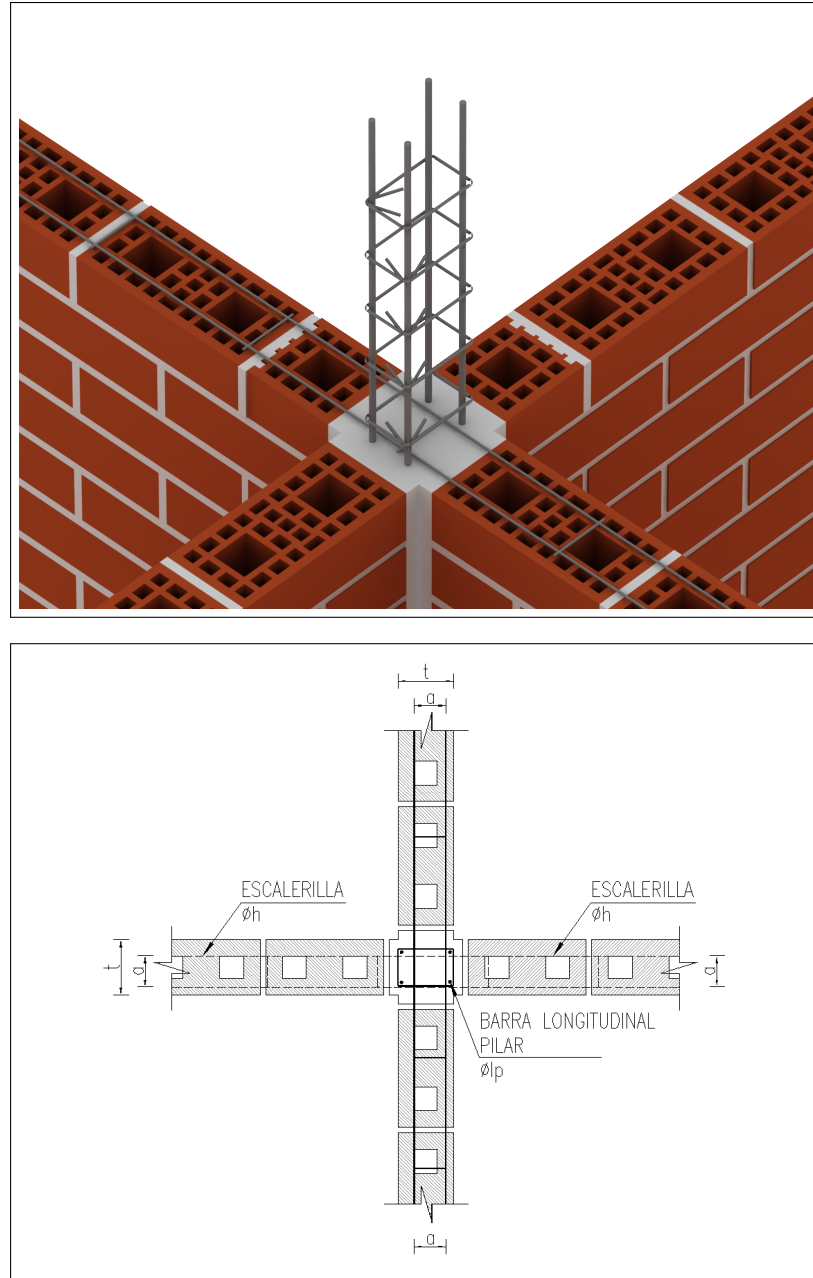


Figura 4.49: Detalle de las escalerillas para el encuentro de muros en Cruz

Capítulo 5

Comentarios y Conclusiones

En este trabajo se ha realizado una revisión bibliográfica de diferentes soluciones de detallamiento para muros de albañilería armada y confinada. Como resultado de esta revisión se puede destacar que:

- a. En Chile se encuentra poca información sobre el tema, por lo que es necesario disponer a la brevedad de un manual que proponga soluciones y que representen el sentir de la comunidad profesional.
- b. En los manuales de construcción de viviendas de albañilería, como son los documentos existentes en Indonesia, Haití, Perú, México, entre otros países en desarrollo, se proponen soluciones de detallamiento para mejorar el comportamiento sísmico observado de las viviendas del tipo unifamiliar construidas por sus propietarios (autoconstrucción). Por lo anterior, las soluciones propuestas corresponden a soluciones conservadoras especialmente en lo relacionado con las dimensiones que están en juego.
- c. En los países desarrollados como es el caso de los Estados Unidos, la información sobre detallamiento es abundante y esta respaldada por las disposiciones y limitaciones que establecen las normas de diseño locales. Las soluciones propuestas corresponden a muros de albañilería armada por ser el único tipo de refuerzo utilizado en las zonas sísmicas de los Estados Unidos. El uso de estas soluciones se limita al caso de edificios de albañilería armada construidos con unidades con una geometría como la que tienen los bloques huecos de hormigón y con relleno total de los huecos. Esta realidad difiere de la práctica utilizada en Chile, donde predomina la albañilería armada construida con unidades cerámicas con huecos de dimensiones reducidas y con un relleno parcial de los huecos, con una calidad resistente bastante menor que sus pares fabricados en USA, del orden de $1/3$ en lo que a resistencia a la compresión corresponde (NCMA, 2007). Las diferencias destacadas, limitan el uso del detallamiento recomendado en los Estados Unidos.
- d. Los estudios experimentales realizados sobre el tema del detallamiento en muros de albañilería reforzada son escasos. Los pocos estudios realizados en Chile se han concentrado principal-

mente en el tema del empalme por traslape de las barras de refuerzo en el interior de los huecos de las unidades (DaFonseca, 2002) y (Silva, 2005).

- e. De la inspección de daños de los terremotos chilenos ocurridos en los años 1985, 1997, 2005, 2007 y 2010, se ha concluido que muchos de los daños observados se debieron al mal detallamiento de los refuerzos (barras de acero y elementos de confinamiento) y de los paños de albañilería, situación que redujo las capacidades de los muros tanto del punto de vista de su resistencia como de la capacidad de deformación más allá de los niveles de agrietamiento. En algunos casos, el deterioro del comportamiento estructural de los muros, producto del mal detallamiento, fue uno de los factores que contribuyó al colapso parcial y total de los edificios.
- f. Por ultimo, se propone un conjunto de detalles para la disposición de las barras de refuerzo en muros de albañilería armada y confinada, algunos de los cuales deberán someterse a experimentación para validarlos y así poder utilizar dichos detalles en la construcción de viviendas de albañilería reforzada. Esto es necesario pues los detalles que se proponen en el capítulo 4 de la presente memoria son solo una recopilación de los manuales de buena practica y en algunos casos son propuestas desarrolladas por el alumno para la solución de algunos de éstos.

Bibliografía

- ACI. 2005. *Building Code Requirements for Structural Concrete*. American Concrete Institute, EEUU.
- ACMA. 2011. *Autoconstrucción en albañilería*. Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, Santiago, Chile.
- AIS. 2002. *Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sísmoresistente de viviendas de mampostería*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogota, Colombia.
- Ali, Dr. Qaisar. 2006. *Confined Masonry Guidelines*. University of Engineering and Technology Peshawar, Peshawar, Pakistán.
- Astroza, M. 1985. *Registro Fotográfico del Terremoto de 3 de Marzo de 1985*. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Astroza, M. 2008. *Apuntes del curso: Diseño de albañilería estructural*. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Astroza, M. 2010. *Registro Fotográfico del Terremoto de 27 de Febrero de 2010*. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Astroza, M., & Silva, D. 2005. *Longitud de empalme por traslape de barras de refuerzo vertical de muros de albañilería armada*. Actas de las 8as Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica., Concepción, Chile.
- Astroza, M., Cabezas, F., Moroni, M., Massone, L., Ruiz, S., Parra, E., & Cordero, F. 2010a. *Intensidades sísmicas en el área de daños del terremoto del 27 de febrero de 2010*. Tech. rept. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Astroza, M., Brzev, S., & Moroni, M. 2010b. *Performance of Confined Masonry Buildings in the February 27, 2010 Chile Earthquake*. Santiago, Chile. Universidad de Chile and British Columbia Institute of Technology.
- Boen, T. 2009. *Constructing Seismic Resistant Masonry Houses in Indonesia*. World Seismic Safety Initiative, Jakarta, Indonesia.

- Bravo, E., Poveda A. Ubico D. 2007. *Manual de construcción con bloques de concreto*. ICCYC (Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto), Costa Rica.
- BuildChange. 2006. *How Confined Masonry Buildings Fail in Earthquakes*. Build Change, Technical Resources to Build Earthquake-Resistant Houses and Help Save Lives.
- Crisafulli, F.J., Carr, A.J., & Park, R. 2000. Capacity design of infilled frame structures. *In: 12th World Conference on Earthquake Engineering*.
- DaFonseca, M. 2002. *Estudio Experimental Sobre el Comportamiento de los Empalmes en Albañilerías Armadas*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Hausler, E. 2008. *Design and Construction of Confined Masonry Houses in Indonesia: Challenges, performance in earthquakes, and need for future research*. Build Change, Indonesia.
- ICH. 2009. *Manual de detallamiento para elementos de hormigón armado*. Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, Santiago, Chile.
- IMI. 2009. *Masonry Detailing Series*. International Masonry Institute, <http://www.imiweb.org>.
- INN. 1981. *Especificación Técnica 20/81. Albañilería Armada - Recomendaciones para el Diseño, Cálculo, Construcción e Inspección*. Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile.
- INN. 1996. *NCh433: Diseño Sísmico de Edificios*. Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile.
- INN. 2003a. *NCh1928: Albañilería armada - Requisitos para el diseño y cálculo*. Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile.
- INN. 2003b. *NCh2123: Albañilería confinada - Requisitos para el diseño y cálculo*. Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile.
- Kato, H., Tajiri S. Mukai T. 2010. *Preliminary Reconnaissance Report of the Chile Earthquake 2010*. Building Research Institute, Japón.
- Kuroiwa, Julio. 2008. *Manual para el Desarrollo de Viviendas Sismorresistentes*. PNUD, Ministerio Británico para el Desarrollo Internacional, Lima, Perú.
- Lafuente, M., Genatios C. 2007. *Cartilla de autoconstrucción sismorresistente*. CITECI, Venezuela.
- Lane, J W. 2007. *Concrete Masonry Manual*. Concrete Manufacturers Association, Sudáfrica.
- Liu, D., Wang M. 2000. Masonry Structures Confined With Concrete Beams And Columns. *In: 12th World Conference on Earthquake Engineering*. WCEE.

- Mexico. 2007. *Normas tecnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería*. Distrito Federal, Mexico.
- Moas, M. 1993. *Manual para la construccion de viviendas de un piso con bloques de concreto*. Comision Nacional de Prevencion de Riesgos y Atencion de Emergencias, Costa Rica.
- MSJC. 2011. *Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures*. Masonry Standard Joint Committee, EEUU.
- Narafu, T., Imai H. Matsuzaki S. Sakoda K. Matsumara F. Ishiyama Y. Tasaka A. 2008. Basic Study for Bridge Betewwn Engineering and Construction Practice of Non-Engineered Houses. *In: The 14th World Conference on Earthquake Engineering*. World Conference on Earthquake Engineering.
- NCMA. 2005. *TEK 12-2B: Joint Reinforcement for Concrete Masonry*. Tech. rept. National Concrete Masonry Association.
- NCMA. 2007. *TEK 12-6A : Splices, Development and Standards Hooks for Concrete Masonry*. Tech. rept. National Concrete Masonry Association.
- Nilson, A.H., Winter, G., & Yamin, L.E. 1999. *Diseño de estructuras de concreto*. McGraw-Hill, Interamericana.
- Núñez, M. 2010. *Análisis de los daños provocados por el terremoto del 27 de febrero de 2010 a los edificios de Villa Cordillera, comuna de Rancagua*. Memoria para optar al titulo de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniera Civil, Facultad de ciencias Fisicas y Matematicas, Universidad de Chile.
- Pinto, M. 2011. *Albañilería: Soluciones para un país sísmico*. Corporación de desarrollo tecnológico y CChC, Seminario de Tecnologías de Materiales, Santiago, Chile.
- Schacher, T. 2006. *Confined Masonry: An illustrated guide for masons*. Swiss Agency for Development and Cooperation SDC, Ginebra, Suiza.
- SENA. 2003. *Apuntes del curso: Construccion de Casas Sismo Resistentes de Uno y Dos Pisos*. Servicio Nacional de Aprendizaje.
- Silva, D. 2005. *Recomendaciones para el Diseño de Muros de Albañilería Armada por el Método de Resistencia Última*. Memoria para optar al titulo de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniera Civil, Facultad de ciencias Fisicas y Matematicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Totten, C. 2010. *Confined Masonry Workshop Handbook*. AIDG (Appropriate Infrastructure Development Group) , AWB (Architects Without Borders), HaitiRewired, Haití.

ANEXOS

Anexo A

Largos de anclaje y desarrollo según normas de diseño de albañilería y hormigón

Este anexo entrega las fórmulas que recomiendan las normas para calcular los largos de anclajes, empalme y desarrollo. Para mayor información se recomienda consultar las normas de donde se obtuvieron.

Para el cálculo de l_{dh} (4.1.3) se utilizó la fórmula recomendada en el capítulo 21.7.5 de la norma ACI 318 (ACI, 2005).

$$l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \sqrt{f'_c}} \quad (\text{A.1})$$

Para el cálculo del largo de desarrollo de barras longitudinales de pilares o cadenas (4.2.8), se utilizó la fórmula A.2, la cual proviene de la norma ACI 318 sección 12.2.3 (ACI, 2005).

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}} \right) d_b \quad (\text{A.2})$$

Para el cálculo del largo de desarrollo en barras embebidas en el mortero de junta de la albañilería armada (4.1.2) se utilizó la fórmula recomendada por la norma americana MSJC sección 2.1.10.7.1 (MSJC, 2011).

$$l_d = \frac{0,13 d_b^2 f_y \gamma}{K \sqrt{f'_m}} \quad (\text{A.3})$$