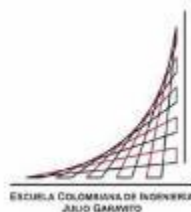


**Maestría en Ingeniería Civil**

**Propuesta de Actualización Parcial del Manual de Evaluación y  
Reforzamiento Sísmico para Reducción de Vulnerabilidad en Viviendas  
de Mampostería no Estructural de Build Change**

**Juan Felipe Torres León**

**Bogotá, D.C., 11 de diciembre de 2019**



**Propuesta de Actualización Parcial del Manual de Evaluación y  
Reforzamiento Sísmico para Reducción de Vulnerabilidad en Viviendas  
de Mampostería no Estructural de Build Change**

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en  
Estructuras**

**Juan Felipe Torres León**

**Bogotá, D.C., 11 de diciembre de 2019**

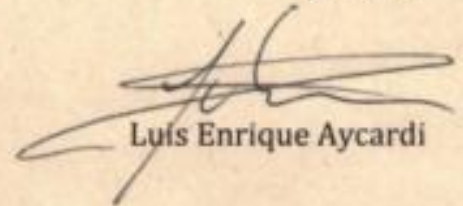


La tesis de maestría titulada "Propuesta de Actualización Parcial del Manual de Evaluación y Reforzamiento Sísmico para Reducción de Vulnerabilidad en Viviendas de Mampostería no Estructural de Build Change", presentada por Juan Felipe Torres León, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras

Director de la tesis  
Sandra Rocío Jerez Barbosa

SANDRA R. JEREZ

Jurado 1



Luis Enrique Aycardi

Jurado 2

Sebastián López

Bogotá, D.C., 29 de enero de 2020

*A mis padres que me han dado el mejor apoyo incondicional durante toda mi vida y el mejor ejemplo a seguir.*

*A mis hermanos por ser siempre la mejor compañía y motivación para ser una mejor persona*

*A mi novia por enseñarme a ser paciente y perseverante en los momentos difíciles con su amor incondicional*

*A Laura por su gran amistad y por mostrarme que siempre puedo llegar más lejos.*



## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco a Dios por haberme dado la vida y la oportunidad de cada día para ser mejor persona y profesional. A mis padres Juan y Luz Stella por su apoyo y confianza en cada momento de mi vida y por su sacrificio para formarme y ser el hombre que soy hoy en día. A mi hermanos Juan Pablo, María Alejandra y Andrea por siempre contagiarme de su alegría.*

*A Sofía por la paciencia, amor y cariño que me ha dado durante todos estos años para formarme como un mejor hombre y salir adelante a pesar de los problemas que juntos hemos superado.*

*A mis amigos, compañeros, y colegas de la Escuela por su apoyo y buenos momentos que siempre me ayudaban a verle el lado bueno a los problemas y a poder superar los retos que nos han formado día a día.*

*A mis profesores la ingeniera Sandra Jerez y el ingeniero Jairo Uribe por infundirme el amor por las estructuras y ser un ejemplo a seguir para formarme cada día como un mejor profesional.*

*A la Escuela Colombiana de Ingeniería por su apoyo e inversión en esta investigación y al centro de estudios de Estructuras y Materiales por la colaboración y dedicación en el desarrollo de los ensayos de laboratorio.*

## Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo general: .....	16
2.2 Objetivos específicos: .....	16
3. MANUAL DE EVALUACIÓN Y REFORZAMIENTO SÍSMICO PARA REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD EN VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL DE BUILD CHANGE .....	17
3.1 Deducción de ecuaciones del Manual .....	21
3.1.1 Porcentaje de área de muro requerido básico .....	23
3.1.2 Factor de resistencia del bloque, $C_b$ .....	25
3.1.3 Factor de calidad de obra, $C_q$ .....	26
3.1.4 Factor de vulnerabilidad para el análisis, $C_r$ .....	27
3.1.5 Factor de piso, $C_p$ .....	27
3.1.6 Factor de peso sísmico, $C_w$ .....	27
3.1.7 Factor de reducción de fuerza sísmica, $R$ .....	28
3.1.8 Factor de ajuste para muros nuevos de mampostería, $K_m$ .....	30
3.1.9 Factor de ajuste para pañete estructural, $K_p$ .....	31
3.1.10 Factor de ajuste para recubrimiento de concreto reforzado nuevo, $K_c$ .....	31
4. MARCO TEÓRICO .....	33
4.1 Antecedentes.....	33
4.2 Componentes de los muros de mampostería .....	42
4.2.1 Unidades de mampostería .....	43
4.2.2 Mortero de pega.....	47
4.3 Muros de MNR.....	50
4.3.1 Resistencia a la compresión.....	53
4.3.2 Resistencia a la tensión.....	55
4.3.3 Resistencia al corte .....	55
4.3.4 Módulo de elasticidad.....	57
4.3.5 Relación de Poisson.....	58
4.4 Comportamiento de la mampostería frente a cargas estáticas y dinámicas .....	59
4.4.1 Tipos de sollicitaciones en muros de MNR .....	60
4.5 Métodos de reforzamiento .....	72
4.5.1 Confinamiento de muros.....	73
4.5.2 Aumento de área de muros .....	76
4.5.3 Reforzamiento con fibras compuestas .....	77
4.5.4 Reforzamiento con concreto reforzado.....	80
4.5.5 Reforzamiento con mortero y malla electrosoldada .....	81
5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	85

6.	ENSAYOS.....	86
6.1	Caracterización de los componentes de los muros .....	86
6.1.1	Mortero.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6.1.2	Composición de mezclas de mortero existente .....	86
6.2	Bloques de mampostería.....	88
6.2.2	Ensayos de compresión en muretes de mampostería.....	89
6.2.3	Ensayos de compresión diagonal en muros .....	90
6.2.4	Ensayos de carga lateral cíclica .....	93
6.2.5	Ensayos de flexión fuera del plano.....	102
7.	RESUMEN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	105
7.1	Desagregación de muestras de mortero existente .....	105
7.2	Compresión de cilindros de mortero .....	105
7.3	Absorción en unidades de mampostería .....	106
7.4	Compresión en unidades de mampostería .....	106
7.5	Compresión de muretes .....	107
7.6	Compresión diagonal.....	109
7.7	Carga lateral cíclica.....	113
7.7.1	Ensayo estático.....	113
7.7.2	Ensayos Cíclicos .....	115
7.8	Ensayos flexión fuera del plano.....	125
8.	PROPUESTAS PARA EL MANUAL DE EVALUACIÓN Y REFORZAMIENTO SÍSMICO PARA REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD EN VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL DE BUILD CHANGE ....	128
8.1	Resistencia al corte en MNR .....	128
8.2	Factor de área neta.....	128
8.3	Factor de ajuste para pañete estructural .....	129
8.4	Porcentaje de área de muros requerido, BPAM.....	130
9.	MODELACIÓN MATEMÁTICA .....	133
9.1	Geometría.....	133
9.1.1	Geometría del muro.....	134
9.1.2	Geometría de vigas.....	137
9.1.3	Condiciones de apoyo .....	137
9.1.4	Grados de libertad.....	138
9.2	Materiales.....	138
9.2.1	Mampostería.....	138
9.2.2	Mortero de pañete.....	140
9.2.3	Acero malla electrosoldada y barras de anclaje .....	141
9.2.4	Concreto vigas.....	142
9.3	Cargas aplicadas .....	143

9.4	Resultados modelación.....	145
9.4.1	Desplazamientos.....	145
9.4.2	Distribución de esfuerzos .....	146
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	148
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	150
12.	ANEXOS.....	153
12.1	Resultados ensayos de caracterización.....	1
12.1.1	Caracterización de mortero mediante ensayo de desagregación.....	1
12.1.2	Compresión en cilindros de mortero de pega .....	2
12.1.3	Compresión en cilindros de mortero de pañete.....	3
12.1.4	Absorción en unidades de mampostería – Bloque No. 5.....	4
12.1.5	Compresión en unidades de mampostería – Bloque No. 5.....	4
12.1.6	Compresión en muretes de mampostería.....	4
12.2	Ensayos de compresión diagonal .....	8
12.3	Ensayos de carga lateral cíclica .....	12
12.3.1	Muros sin refuerzo.....	12
12.3.2	Muros reforzados con pañete sin malla electrosoldada.....	12
12.3.3	Muros reforzados con pañete y malla electrosoldada en una cara.....	12
12.3.4	Muro reforzado con pañete y malla electrosoldada en las dos caras .....	13
12.4	Ensayos de flexión fuera del plano.....	13
12.5	Listas de verificación empleadas en el manual de evaluación y reforzamiento .....	16

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Portada del Manual de Evaluación y Reforzamiento Sísmico para Reducción de Vulnerabilidad en Viviendas (BuildChange, 2015).....	17
Figura 2.	Referencias empleadas en el Manual .....	18
Figura 3.	Metodología para emplear el Manual. Tomado de: “Manual de Evaluación y Reforzamiento Sísmico para Reducción de Vulnerabilidad en Viviendas” de Build Change (BuildChange, 2015). .....	19
Figura 4.	Técnicas de reforzamiento propuestas en el Manual: a) Confinamiento con elementos de concreto; b) Revoque en dos caras de muro existente; c) Muro de mampostería nueva; d) Recubrimiento de concreto reforzado en una cara (BuildChange, 2015). .....	21
Figura 5.	Ejemplo de planta para cálculo de PAM existente (BuildChange, 2015). .....	22
Figura 6.	Dimensiones promedio de bloques de perforación horizontal en arcilla.....	23
Figura 7.	Esquema para avalúo de cargas en muros.....	25
Figura 8.	Ejemplo de aplicación de factor de ajuste para muros nuevos de mampostería (BuildChange, 2015). .....	31
Figura 9.	Ejemplo de aplicación de factor de ajuste para pañete estructural.....	31
Figura 10.	Ejemplo de aplicación de factor de ajuste para recubrimiento de concreto reforzado nuevo (BuildChange, 2015). .....	32
Figura 11.	Vivienda en mampostería colapsada por terremoto de Popayán. Tomado de: <a href="https://www.eluniversal.com.co/colombia/yo-vivi-el-terremoto-de-popayan-cronica-de-un-sobreviviente-114188-BSEU201110">https://www.eluniversal.com.co/colombia/yo-vivi-el-terremoto-de-popayan-cronica-de-un-sobreviviente-114188-BSEU201110</a> .....	33

Figura 12. Vista panorámica de la destrucción generada por el terremoto del Eje Cafetero. Tomado de: <a href="https://www.elespectador.com/noticias/nacional/se-conmemoran-15-anos-del-terremoto-de-armenia-articulo-470817">https://www.elespectador.com/noticias/nacional/se-conmemoran-15-anos-del-terremoto-de-armenia-articulo-470817</a> .....	34
Figura 13. Colapso de cubierta en vivienda de mampostería. Nepal, 2015. Tomado de: Performance of Residential Buildings during the M 7.8 Gorkha (Nepal) Earthquake of 25 April 2015.....	34
Figura 14. Colapso de muro de mampostería perimetral. Tomado de: <a href="https://inspectapedia.com/structure/Brick_Structure_Damage.php">https://inspectapedia.com/structure/Brick_Structure_Damage.php</a> .....	35
Figura 15. Agrietamiento diagonal en muros de mampostería. Tomado de: “Confines Masonry Buildings: Key Components and Performance in Past Earthquakes”. Svetlana, 2014.....	35
<b>Figura 16.</b> Mapa de zonas de amenaza sísmica en Colombia. Tomado de: Título A. NSR-10. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).....	36
Figura 17. Proyecciones de población Bogotá 2010. Fuente: DANE. ....	37
Figura 18. Índice de vulnerabilidad sísmica por localidad en Bogotá. (FOPAE, 2011). ....	38
Figura 19. Posible número de muertes por localidad en caso de un sismo de magnitud 7.0 en Bogotá. (FOPAE, 2011). ....	38
Figura 20. Posible número de habitantes afectados por localidad en caso de un sismo de magnitud 7.0 en Bogotá. (FOPAE, 2011).....	39
Figura 21. Escenario de daño para un evento sísmico de magnitud 7.0 a 40 km de profundidad en Bogotá. Fuente: IDIGER – Riesgo sísmico.....	40
Figura 22. Placa de advertencia en edificio de MNR (Abarca Torres, 2018). ....	41
Figura 23. Proceso de fabricación de bloques de mampostería de arcilla.....	
Figura 24. Bloques de perforación horizontal Ladrillera Santafé. Tomado de: <a href="https://www.santafe.com.co/wp-content/uploads/2019/07/productos.pdf">https://www.santafe.com.co/wp-content/uploads/2019/07/productos.pdf</a> .....	45
Figura 25. Bloques de perforación vertical Ladrillera Santafé. Tomado de: <a href="https://www.santafe.com.co/wp-content/uploads/2019/07/productos.pdf">https://www.santafe.com.co/wp-content/uploads/2019/07/productos.pdf</a> .....	45
Figura 26. Torre Mervinslaw en Escocia, data del año 1600. (Aosmhor, 2014) .....	48
Figura 27. Gráfico comparativo de Resistencia a compresión vs. Relación agua cemento para diferentes proporciones (Still, 2004).....	49
Figura 28. Gráfico comparativo de Resistencia a tensión vs. Relación agua cemento para diferentes proporciones (Still, 2004).....	50
Figura 29. Vivienda construida en MNR. Tomado de: <a href="http://edificacionesdecalidad.com/autoconstrucci%C3%B3n-alba%C3%B1iler%C3%ADa-sismorresistente">http://edificacionesdecalidad.com/autoconstrucci%C3%B3n-alba%C3%B1iler%C3%ADa-sismorresistente</a> .....	51
Figura 30. Muro divisorio en vivienda de Bogotá. Foto del autor. ....	51
Figura 31. Viviendas ubicadas en zonas de ladera en la ciudad de Bogotá. Tomada de: <a href="https://www.eltiempo.com/bogota/buenavista-el-colorido-barrio-del-cerro-que-atrae-turismo-a-usaquen-259830">https://www.eltiempo.com/bogota/buenavista-el-colorido-barrio-del-cerro-que-atrae-turismo-a-usaquen-259830</a> .....	52
Figura 32. Esquema de muro construido con MNR típico de fachada.....	52
Figura 33. Comparación de curvas de Esfuerzo vs. Deformación unitaria para unidades de mampostería, Prismas y motero de pega (Priestley, 1992).....	53
Figura 34. Ensayo de compresión en murete de mampostería de arcilla. (Shahzada et al., 2012) .....	54
Figura 35. Relación entre esfuerzos de corte vs. Relación esfuerzo de compresión y resistencia de mampostería. Tomado de (Guiqiu & Chuxian, 1997).....	57
Figura 36. Baños de Caracalla en Roma construidos con mampostería. Tomado de: <a href="https://brickarchitecture.com/about-brick/why-brick/the-history-of-bricks-brickmaking">https://brickarchitecture.com/about-brick/why-brick/the-history-of-bricks-brickmaking</a> .....	59
Figura 37. Transferencia de cargas en muros de MNR. (Doherty, 2000).....	60
Figura 38. Mecanismo de falla de mampostería por compresión (Tena, 2001).....	61
Figura 39. Curvas de Esfuerzo vs. Deformación Unitaria de ensayos de compresión en muretes (Meli et al., 1999).....	62
Figura 40. Esquema de falla por deslizamiento por fisuración en mortero de pega (Oyguc & Oyguc, 2017). ....	64
Figura 41. Esquema de falla por aplastamiento(Oyguc & Oyguc, 2017). ....	65
Figura 42. Esquema de falla por desprendimiento en la base (Oyguc & Oyguc, 2017).....	66

Figura 43. Falla por agrietamiento diagonal en muro de mampostería. (Zhou, Zhou, & Lei, 2016).....	66
Figura 44. Esquema de falla por agrietamiento diagonal (Oyguc & Oyguc, 2017).....	67
Figura 45. Tipos de soporte de muros y patrones de fisuración asociados a fallas fuera del plano (Vaculik, 2012) .....	69
Figura 46. Momentos internos desarrollados en muros de mampostería para diferentes tipos de flexión (Vaculik, 2012) .....	70
Figura 47. Efectos de torsión producidos por la no coincidencia del centro de masa CM y centro de rigidez CR.....	71
Figura 48. Distribución de fuerzas cortantes en sistema de muros de mampostería.....	72
Figura 49. Orientación del muro respecto a la orientación de la base y deformación de éste. Tomado de (Jaramillo, 2002).....	73
Figura 50. Comparación entre a. sistema de muros en mampostería confinada y b. sistema de pórticos resistentes a momento (S. Jain, S. Brzev, 2015).....	74
Figura 51. Esquema de reforzamiento por confinamiento (S. López, 2013).....	75
Figura 52. Idealización de reforzamiento por confinamiento. ....	75
Figura 53. a. Sistema de reforzamiento de muro de mampostería empleando platinas de acero; b. Resultados de ensayos obtenidos por reforzamiento con platinas de acero. (Secondin, 2003) .....	76
Figura 54. Reemplazo de muros no estructurales o muros con aberturas por muros estructurales (AIS, 2004). ....	77
Figura 55. Aplicación de fibra FRP para reforzamiento de muros. (Secondin, 2003).....	78
Figura 56. Muros reforzados empleando sistema de FRP con configuración de diagonales (Vega, 2015). ....	79
Figura 57. Esquema de reforzamiento empleando fibras FRP. (Babaeidarabad, De Caso, & Nanni, 2014). ....	79
Figura 58. Revestimiento de muro de mampostería (AIS, 2004).....	80
Figura 59. Aplicación de refuerzo en una y dos caras para muro de mampostería (Churilov & Dumova-Jovanoska, 2012). ....	81
Figura 60. Reforzamiento de muro empleando sistema de mortero y malla electrosoldada (Carrillo, Pincheira, & Flores, 2020). ....	83
Figura 61. Esquema de reforzamiento empleando malla electrosoldada y mortero (Orhon, 2012).....	84
Figura 62. Procedimiento de disgregación de mezclas de mortero existente.....	86
Figura 63. Procedimiento de disgregación de mezclas de mortero existente.....	87
Figura 64. Cilindros de mortero ensayados a compresión.....	87
Figura 65. Bloques de mampostería No. 5; Dimensiones promedio de bloques No 5 de Ceragres.....	88
Figura 66. Ensayo de compresión en unidades de mampostería. ....	89
Figura 67. Muretes para ensayos de compresión.....	90
Figura 68. Esquema de ensayo de compresión diagonal en muretes. ....	91
Figura 69. a. Sistema de aplicación de carga; b. Instrumentación del espécimen. ....	92
Figura 70. Esquema de muro angosto.....	93
Figura 71. Despiece de vigas superior y de cimentación. ....	94
Figura 72. Reforzamiento de muro empleando mortero y malla electrosoldada.....	95
Figura 73. Detalles a. Anclaje de varillas a viga de cimentación; b. Anclaje de malla al muro.....	95
Figura 74. Anclajes para muros reforzados con malla electrosoldada.....	96
Figura 75. Muro MMP-PD.....	97
Figura 76. Montaje para ensayo de carga lateral cíclica en muros. ....	97
Figura 77. Sistema de aplicación de carga axial.....	98
Figura 78. Sistema de amarre para elementos superiores del muros.....	98
Figura 79. Esquema general de montaje para ensayos de carga lateral cíclica. ....	99
Figura 80. Deformímetros longitudinales. ....	100
Figura 81. Protocolo de carga controlado por deformación (FEMA461, 2007).....	101
Figura 82. Protocolo de carga empleado en ensayos de carga lateral cíclica. ....	102
Figura 83. Esquema general de montaje para ensayos de flexión fuera del plano.....	103
Figura 84. Montaje para ensayo de flexión fuera del plano. ....	104

Figura 85. Falla de unidad de mampostería por compresión axial.....	107
Figura 86. Gráfica de Esfuerzo a compresión vs. Deformación unitaria de ensayos en muretes de mampostería.....	108
Figura 87. Ensayos de compresión en muretes de mampostería.....	109
Figura 88. Falla global de murete por compresión diagonal.....	110
Figura 89. Rotura de unidad de mampostería por compresión diagonal.....	110
Figura 90. Rotura de unidad de mampostería y fisuración de mortero de pega por compresión diagonal.....	111
Figura 91. Gráfica de Esfuerzo cortante vs. Deformación angular de ensayos de compresión diagonal en muretes de mampostería.....	112
Figura 92. Curva de Fuerza vs. Deriva obtenida en ensayo de carga lateral estática de muro MC1.....	114
Figura 93. Ensayo de carga lateral estática - Muro MC1.....	115
Figura 94. Curvas de Fuerza vs. Deriva de ensayos de muros sin reforzamiento.....	116
Figura 95. Historial de desplazamientos del actuador y muro en función del tiempo muro MC2 PD... ..	116
Figura 96. Falla de muro MC1 PD por rotura en zona inferior.....	117
Figura 97. Falla por rotura de bloques en muro MC2 PD.....	117
Figura 98. Curvas de Fuerza vs. Deriva de ensayos de muros reforzados con malla y pañete.....	118
Figura 99. Fisuración en pañete de refuerzo en zona inferior del muro; rotura por compresión en unidad de mampostería – MMP4 PD.....	118
Figura 100. Fisuración en unidades de mampostería; fisuración en pañete de refuerzo en zona superior – MMP2 PD.....	119
Figura 101. Curvas de Fuerza vs. Deriva de ensayos de muros reforzados pañete en una cara.....	120
Figura 102. Fisuración en base del muro por ausencia de anclaje; falla por compresión en pañete – MSP2.....	121
Figura 103. Curva de Fuerza vs. Deriva de ensayo de muro reforzado con malla y pañete en dos caras.....	122
Figura 104. Fisuración de pañete en zonas de anclajes - MMP DC.....	122
Figura 105. Fisuras en bloques de primera hilada; fisuración en zona de anclajes.....	123
Figura 106. Envoltorio de curvas de Fuerza vs. Deriva para ensayos de carga lateral cíclica.....	124
Figura 107. Envoltorio de curvas de Esfuerzo vs. Deriva para ensayos de carga lateral cíclica.....	124
Figura 108. Envoltorio de curvas de carga vs. Desplazamiento en ensayos de flexión fuera del plano.....	126
Figura 109. Fisuración en pañete por flexión fuera del muro.....	126
Figura 110. Falla en unidad de mampostería por flexión fuera del plano; Fisuración en pañete.....	127
Figura 111. Idealización de elemento de área tipo Shell.....	133
Figura 112. Modelo de muro de mampostería no reforzado en SAP2000.....	134
Figura 113. Definición de sección tipo área.....	135
Figura 114. Definición de propiedades para sección tipo Shell- Layered/Non linear – Modelo no reforzado.....	135
Figura 115. Definición de propiedades para sección tipo Shell- Layered/Non linear – Modelo reforzado con pañete en una cara.....	136
Figura 116. Definición de propiedades para sección tipo Shell-Layered/Non linear – Modelo reforzado con malla electrosoldada y pañete en una cara.....	136
Figura 117. Definición de sección transversal para viga de cimentación.....	137
Figura 118. Definición de sección transversal para viga superior.....	137
Figura 119. Definición de grados de libertad.....	138
Figura 120. Definición de propiedades para el material de mampostería.....	139
Figura 121. Modelo de esfuerzo – deformación para MNR (Sharma & Khare, 2016).....	139
Figura 122. Definición de propiedades no lineales para mampostería.....	140
Figura 123. Definición de propiedades para el material de mortero de pañete.....	140
Figura 124. Definición de propiedades para el material de malla electrosoldada.....	141
Figura 125. Definición de propiedades no lineales para malla electrosoldada.....	142
Figura 126. Definición de propiedades para el material de vigas de concreto.....	142

Figura 127. Patrones de carga definidos para la modelación. ....	143
Figura 129. Asignación de carga axial a viga superior del modelo. ....	143
Figura 130. Definición de función de carga lateral cíclica. ....	144
Figura 131. Definición de combinación de carga. ....	145
Figura 132. Curva deformada de muro no reforzado. Desplazamiento en mm. ....	145
Figura 133. a. Diagrama de esfuerzos cortantes modelo SAP2000 (Unidades en MPa); b. Falla local en zona inferior de muro por cortante. ....	146
Figura 134. a. Diagrama de esfuerzos axiales modelo SAP2000 (Unidades en MPa); b. Falla local en zona superior de muro por compresión axial. ....	147

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Factores de área neta para diferentes tipos de bloque (BuildChange, 2015). ....	22
Tabla 2. Factores de resistencia <b>CB</b> para diferentes resistencias de mampostería (BuildChange, 2015). ....	26
Tabla 3. Factores de piso para edificaciones con pisos y cubiertas pesadas (BuildChange, 2015). ....	27
Tabla 4. Factores de piso para edificaciones con cubiertas livianas (BuildChange, 2015). ....	27
Tabla 5. Factores de peso sísmico para revoques comunes (BuildChange, 2015). ....	28
Tabla 6. Factores de reducción de fuerza sísmica y de vulnerabilidad para sistemas de muros (BuildChange, 2015). ....	29
Tabla 7. Factor de ajuste para muros nuevos de mampostería (BuildChange, 2015). ....	30
Tabla 8. Coeficientes de estabilidad dimensional para unidades de arcilla. (Industry Association, 1992). ....	47
Tabla 9. Clasificación de morteros de pega por propiedad o proporción. Tomado de Título D – NSR10. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010). ....	48
Tabla 10. Valor del cortante nominal resistido por la mampostería en función de $MuVu * d$ . Título D, (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010). ....	68
Tabla 11. Factores de corrección por esbeltez para la resistencia a la compresión de muretes de mampostería (ICONTEC, 2003). ....	90
Tabla 12. Resultados disgregación de morteros. ....	105
Tabla 13. Resultados ensayos de compresión mortero de pega. ....	105
Tabla 14. Resultados ensayos de compresión mortero de pañete. ....	106
Tabla 15. Resultados ensayo de absorción en unidades de mampostería. ....	106
Tabla 16. Resultados de ensayo de compresión en unidades de mampostería. ....	106
Tabla 17. Resultados de resistencia a la compresión en muretes de mampostería. ....	107
Tabla 18. Resultados de módulo de elasticidad en muretes de mampostería. ....	108
Tabla 19. Resultados de resistencia al corte por compresión diagonal en muretes de mampostería. ....	111
Tabla 20. Valores estadísticos de resistencia al corte por compresión diagonal. ....	112
Tabla 21. Resultados de módulo de cortante en muretes de mampostería. ....	113
Tabla 22. Datos de ensayo de carga lateral estática. ....	114
Tabla 23. Resultados de ensayos de carga lateral cíclica en muros sin refuerzo. ....	117
Tabla 24. Resultados de ensayos de carga lateral cíclica en muros reforzados con malla y pañete en una cara. ....	119
Tabla 25. Resultados de ensayos de carga lateral cíclica en muros reforzados con pañete. ....	121
Tabla 26. Resultados de ensayo de carga lateral cíclica en muro reforzado con malla y pañete en dos caras. ....	123
Tabla 27. Resultados de ensayos de flexión fuera del plano en muros reforzados con malla y pañete en una cara. ....	125
Tabla 28. Valores de factor de área neta propuestos en el Manual. ....	128
Tabla 29. Propuesta para valores de factor de área neta. ....	129
Tabla 30. Factores de ajuste para pañete nuevo propuestos en el Manual. ....	129
Tabla 31. Resumen de resultados obtenidos en ensayos de carga lateral cíclica. ....	129
Tabla 32. Propuesta de factores de ajuste para pañete <b>KP</b> . ....	130



Tabla 33. BPAM para sistemas de muros en MNR.....	130
Tabla 34. BPAM simplificados (1) para sistemas de muros en MNR.....	131
Tabla 35. BPAM simplificados (2) para sistemas de muros en MNR.....	131
Tabla 36. BPAM para sistemas de muros en MC.....	131
Tabla 37. BPAM simplificados (1) para sistemas de muros en MC.....	131
Tabla 38. BPAM simplificados (2) para sistemas de muros en MC.....	132
Tabla 39. Comparación de desplazamientos experimentales y de modelación.....	146

# 1. INTRODUCCIÓN

El estudio del comportamiento y desempeño de los diferentes materiales y sistemas estructurales que se emplean en el mundo para la construcción ha sido uno de los puntos de partida en la investigación en ingeniería civil, buscando entender de la mejor manera posible cómo van a responder al verse sometidas a diferentes solicitaciones durante su vida útil. En Latinoamérica y varios países del mundo abunda la construcción informal como consecuencia de los altos niveles de pobreza y un bajo nivel de desarrollo cultural y técnico de manera que la mayoría de las viviendas cuentan con un sistema estructural compuesto únicamente por muros de mampostería no reforzada (MNR) el cual puede presentar una serie de deficiencias constructivas y arquitectónicas. El desempeño general de estas construcciones ha mostrado que estos sistemas estructurales no son recomendables (de hecho, no son permitidos en la mayoría de los reglamentos de diseño) pues se han presentado numerosos daños parciales e incluso colapsos de estructuras cuando se han presentado los movimientos sísmicos.

La empresa Build Change es una ONG que busca mejorar las condiciones de vivienda en países donde la población no cuenta con los medios y recursos necesarios, reduciendo el riesgo al que se ven sometidos los propietarios de este tipo de edificaciones. Actualmente cuentan con el Manual de Evaluación y Reforzamiento Sísmico para Reducción de Vulnerabilidad en Viviendas con el que se busca dar una guía para evaluar y reforzar estructuras de mampostería no estructural de hasta tres pisos mediante procedimientos simplificados y técnicas al alcance de los propietarios. Sin embargo, algunos métodos de reforzamiento propuestos en el manual, así como la metodología de base y sus fórmulas asociadas requieren revisión y actualización a la luz de más evidencia experimental y de la actualización de documentos como el ASCE 41.

De esta manera y teniendo presente el problema presentado en este capítulo, este proyecto busca estudiar algunas propuestas presentadas en el Manual de Build Change y verificarlas con base en análisis y resultados obtenidos en ensayos de laboratorio. Este proyecto de grado hace parte de un proyecto de investigación de convocatoria interna financiado parcialmente por la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. En él participaron ingenieros de Build Change, profesores del Centro de Estudios en Estructuras, Materiales y Construcción de la Escuela y el autor de este trabajo. Las partes del Manual que se revisaron y los ensayos experimentales se acordaron durante el trabajo inicial del equipo mencionado.

Al actualizar el Manual se busca dar recomendaciones para mejorar el estado actual de las viviendas informales de tal manera que se reduzca la vulnerabilidad y se garantice un nivel de comportamiento de seguridad de la vida. Basándose en las diferentes alternativas de reforzamiento que se han estudiado por parte de la academia y se ha demostrado su efectividad se deben buscar resultados experimentales para poder validar y complementar una herramienta simplificada para el Manual y de esta manera dar apoyo a los propietarios y residentes de estas estructuras que resultan vulnerables, siempre buscando preservar la vida y evitar el colapso de las edificaciones.

Este trabajo cuenta con siete capítulos empezando con la descripción del manual y de su contenido. En el segundo capítulo se presenta el marco teórico en el que se investigaron los antecedentes y características correspondientes a los sistemas de muros de MNR y una recopilación de información acerca de las metodologías de reforzamiento estudiadas y empleadas hoy en día. En los capítulos tres y cuatro se presenta la metodología experimental y la descripción de los ensayos de laboratorio realizados en este trabajo. La metodología experimental se dividió en dos partes las cuales corresponden a la caracterización de los componentes de la MNR y a ensayos de escala real con diferentes tipos de sollicitaciones y metodologías de reforzamiento por estudiar. En el quinto capítulo se presenta un resumen de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio haciendo énfasis en los resultados más relevantes. En el sexto capítulo se realizó la verificación de las ecuaciones y los valores establecidos en el manual con base en los resultados experimentales presentados en el capítulo anterior con los que se busca establecer la propuesta de actualización parcial del manual. Por último, se presenta en el séptimo capítulo la modelación matemática de muros cuyas propiedades corresponden a las de los especímenes ensayados en la fase experimental buscando establecer una similitud entre los datos obtenidos en la modelación y experimentalmente.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL:**

Proponer una actualización parcial al “Manual de Evaluación y Reforzamiento Sísmico para Reducción de Vulnerabilidad en Viviendas” de mampostería no estructural revisando las metodologías planteadas e incorporando los resultados de las últimas investigaciones en este sistema.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Evaluación de la viabilidad y comportamiento estructural de las alternativas de reforzamiento propuestas en el Manual de Evaluación y Reforzamiento Sísmico para Reducción de Vulnerabilidad en Viviendas de mampostería no estructural.
- Identificación de los factores que serán revalidados o actualizados con la nueva evidencia experimental.
- Identificación de las nuevas propuestas de reforzamiento para su posible incorporación en el manual.
- Ajuste de los factores y fórmulas para el diseño del reforzamiento de acuerdo con los puntos anteriores.
- Formulación de una propuesta de modificación técnica para el Manual de reforzamiento.

### **3. MANUAL DE EVALUACIÓN Y REFORZAMIENTO SÍSMICO PARA REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD EN VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL DE BUILD CHANGE**

Build Change es una Organización no gubernamental (ONG) sin ánimo de lucro que busca reducir la cantidad de muertes, daños y pérdidas económicas producidas por desastres naturales trabajando en conjunto con entidades gubernamentales, la academia y sector privado para el desarrollo de herramientas que permitan implementar prácticas constructivas seguras y resilientes. Actualmente Build Change opera en 11 países, entre ellos Indonesia, Filipinas, Nepal, Colombia, México, Guatemala y los Estados Unidos con el objetivo de capacitar en prácticas constructivas seguras a las personas ayudándose de las organizaciones locales.

En Colombia se encuentra inscrita como ONG extranjera sin ánimo de lucro desde el año 2014, donde ha desarrollado proyectos de asistencia técnica y generación de capacidad locales con distintos entes nacionales y distritales como lo son en Medellín y Bogotá, enfocando su trabajo en la intervención de viviendas de construcción informal para disminuir su vulnerabilidad estructural.

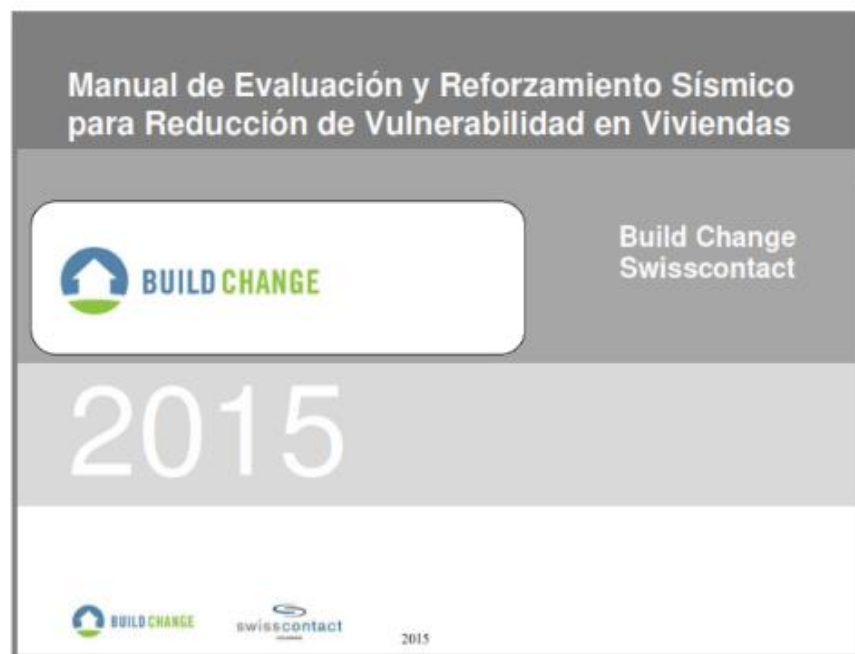


Figura 1. Portada del Manual de Evaluación y Reforzamiento Sísmico para Reducción de Vulnerabilidad en Viviendas (BuildChange, 2015).

Build Change consulta y contribuye al desarrollo de herramientas gubernamentales creando manuales y realizando capacitaciones para todos los involucrados en el tema de la vivienda informal. En países como Haití y Guatemala han sido adoptados los manuales propuestos por la empresa para evaluación sísmica y reforzamiento de edificaciones. En el caso de Colombia, debido a la ausencia de una normativa específica para la evaluación estructural y reforzamiento de edificaciones de vivienda informal, Build Change desarrolló una metodología simplificada de evaluación y diseño de

reforzamiento basado en la normativa actual NSR10 y los documentos ASCE/SEI 31-03 para evaluación sísmica de edificaciones existentes y ASCE/SEI-41 para rehabilitación sísmica de edificaciones existentes. El manual busca dar una serie de recomendaciones constructivas y de reforzamiento enfocadas en estructuras en MNR o confinada de uno hasta tres pisos basándose en criterios de revisión que abarcan todos los componentes de la edificación y principalmente la distribución geométrica de muros existentes y la amenaza sísmica a la cuál puede verse sometida la estructura.

El manual se basa en evaluar la capacidad de las edificaciones a través de diferentes parámetros que permiten establecer si las viviendas pueden verse afectadas de forma parcial o total en el caso de presentarse un movimiento sísmico, identificando las vulnerabilidades existentes y deficiencias mediante un procedimiento de evaluación. La meta es facilitar a los ocupantes de edificaciones construidas con sistemas de muros de MNR una rápida evacuación y disminuyendo la vulnerabilidad de forma que se pueda dar la posibilidad a las personas de retornar a sus viviendas. De acuerdo con la Ley 400 de 1997 donde se expresa que “los criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones nuevas, así como de aquellas indispensables para la recuperación de la comunidad con posterioridad a la ocurrencia de un sismo, que puedan verse sometidas a fuerza sísmicas y otras fuerzas impuestas por la naturaleza o el uso, con el fin de que sean capaces de resistirlas, incrementar su resistencia a los efectos que éstas producen, reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas, y defender en lo posible el patrimonio del Estado y de los ciudadanos” (Congreso de la República de Colombia, 1997) el manual busca asegurar que en las estructuras existentes antes de un desastre puedan garantizar el comportamiento estructural adecuado de la edificación de manera que se mantenga un nivel de seguridad humana.

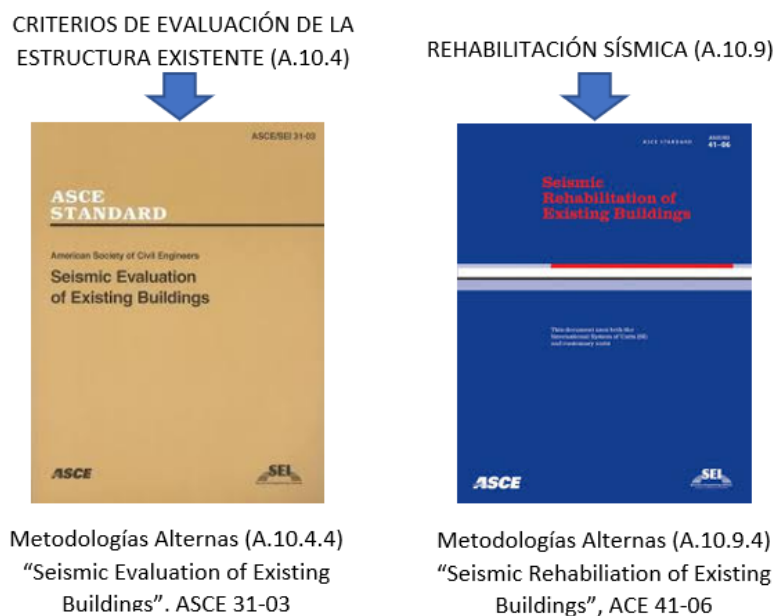


Figura 2. Referencias empleadas en el Manual

El manual es aplicable a edificaciones de construcción informal de Colombia, específicamente de mampostería de hasta 3 pisos de altura, con cubierta liviana o cubierta en placa. Los muros de carga deben ser construidos en MNR con o sin columnas de concreto u otros elementos que aporten confinamiento a los muros. En cuanto a las placas de entrepiso y cubierta deben ser de concreto reforzado y/o cubiertas livianas metálicas o de fibrocemento sobre estructura de madera o perfiles livianos metálicos. En el manual se da información acerca de soluciones y técnicas de reforzamiento que pueden ser empleadas con materiales, mano de obra y equipo que son de fácil acceso para los ocupantes de las viviendas, pero no se dan indicaciones acerca de las técnicas constructivas detalladas para la implementación de las soluciones propuestas ya que la construcción y reforzamiento deben llevarse a cabo por parte de un constructor o propietario local con la capacitación necesaria.

La metodología que se propone consiste en realizar una inspección y evaluación de viviendas empleando una lista de verificación de deficiencias estructurales que suelen presentarse en este tipo de edificaciones y de sitio, tales como: Falla de ladera, muros de contención en sitio, cimentaciones, sistema constructivo, muros de mampostería, configuración y elementos constructivos. Cada uno de estos capítulos tiene una serie de preguntas a las cuales se debe responder con los criterios CUMPLE, NO CUMPLE o NO APLICA, según el caso.

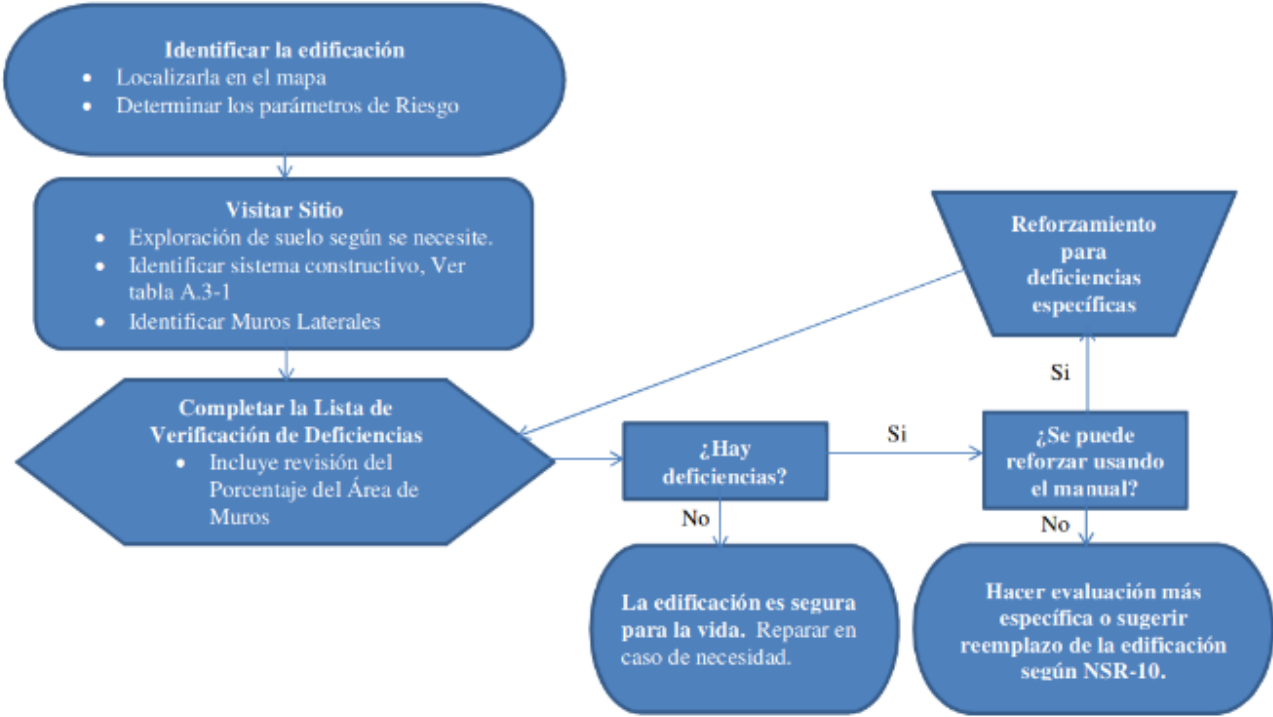


Figura 3. Metodología para emplear el Manual. Tomado de: “Manual de Evaluación y Reforzamiento Sísmico para Reducción de Vulnerabilidad en Viviendas” de Build Change (BuildChange, 2015).

La lista de verificación, presentada en los anexos de este trabajo, busca evaluar el estado de la edificación mediante una valuación rápida de los posibles factores que puedan presentar una deficiencia para la vivienda. Esta investigación se enfocó en los muros de mampostería, su configuración y su calidad y sistema constructivo, estudiando los factores presentados para cada alternativa de reforzamiento y los coeficientes tomados de reglamentos alternos, para poder tener claro si son aplicables o no a la construcción que se emplea en la ciudad de Bogotá principalmente.

El manual busca dar una solución sencilla y económica de reforzamiento a los propietarios cuyas viviendas no cumplen los estándares mínimos de seguridad y resistencia establecidos por los reglamentos de construcción sismo resistente en Colombia, partiendo de una fase de evaluación y reconocimiento de la estructura para llegar a una propuesta de reforzamiento que no sea costosa ni requiera una intervención de mano de obra altamente calificada para la edificación. Dentro de las técnicas de reforzamiento (sin limitar otras que el diseñador pueda proponer) se encuentran:

- Confinamiento de muros existentes de mampostería simple, cumpliendo el requisito de área de muros mínimo requerido explicado en la sección de la deducción de ecuaciones del manual.
- Adición de revoques simples o reforzados a los muros existentes, para aumentar el área efectiva o la resistencia de los muros.
- Adición de vigas de amarre para sistemas de mampostería simple, cumpliendo las restricciones de número de pisos y porcentaje de área de muros.
- Adición de muros nuevos.
- Relleno de vanos de puertas y ventanas.
- Aligeramiento de la estructura, reduciendo el peso según se requiera debido a la demanda estructural.
- Solución de deficiencias de configuración estructural.
- Solución de deficiencias de elementos constructivos y amarres.



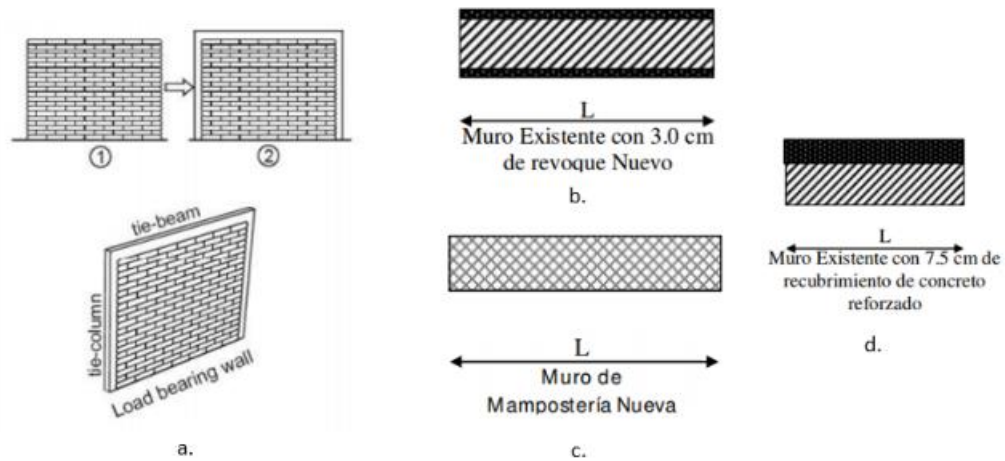


Figura 4. Técnicas de reforzamiento propuestas en el Manual: a) Confinamiento con elementos de concreto; b) Revoque en dos caras de muro existente; c) Muro de mampostería nueva; d) Recubrimiento de concreto reforzado en una cara (BuildChange, 2015).

Para la definición de sistemas estructurales y clasificación según la capacidad de disipación de energía, el manual presenta la tabla A.3.1, con un formato similar al que puede encontrarse en el título A del reglamento NSR-10, para establecer los valores de diseño y las limitaciones en altura correspondientes a la zona de amenaza sísmica en la que se encuentre la edificación. En la misma tabla se define el factor de vulnerabilidad  $C_R$ . Al emplear el factor  $C_R$  para vulnerabilidad con un valor de 0.75 y un valor de 1.0 para sistemas de reforzamiento. En cuanto a los factores de capacidad de disipación de energía  $R$  presentados en el manual, éstos se toman directamente de la tabla A.3.1 del título A del Reglamento NSR-10. Para la definición de los movimientos sísmicos de diseño empleados en los análisis de vulnerabilidad y en la verificación del reforzamiento, el manual se trabaja con el sismo de diseño que tiene una probabilidad de 10% de ser excedido en un lapso de 50 años, siendo conservador con respecto a los movimientos de diseño con seguridad limitada.

### 3.1 DEDUCCIÓN DE ECUACIONES DEL MANUAL

El procedimiento de evaluación de los muros de las edificaciones inicia con el cálculo del Porcentaje de Área de Muros existente ( $PAM_{existente}$ ) el cual se calcula como el área de paredes en cada dirección principal de la planta de la vivienda dividido entre el área total de entrespiso o cubierta soportado por los muros. Este porcentaje debe calcularse para cada dirección principal y cada nivel que tenga la edificación.

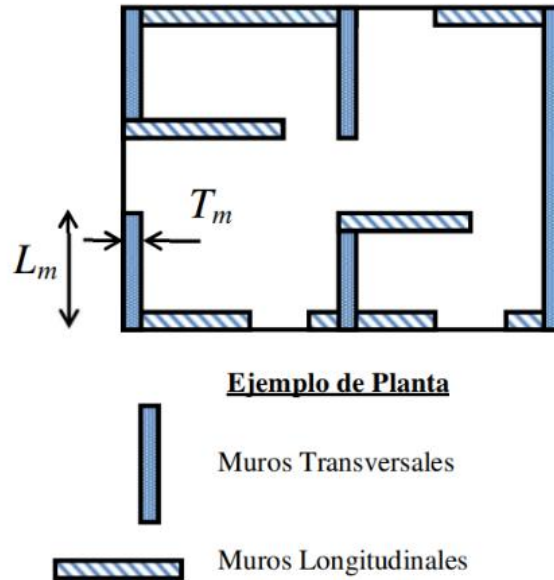


Figura 5. Ejemplo de planta para cálculo de PAM existente (BuildChange, 2015).

$$\begin{aligned}
 PAM_{existente} &= \frac{t_{m1} * l_{m1} * C_{N1} + t_{m2} * l_{m2} * C_{N2} + \dots + t_{mN} * l_{mN} * C_{NN}}{Ac} \quad (1) \\
 PAM_{existente} &= \frac{\sum t_{mN} * l_{mN} * C_{NN}}{Ac}
 \end{aligned}$$

Donde:

- $t_{m1}$ : Espesor del muro #1 (repetir para todos los muros en la misma dirección).
- $l_{m1}$ : Longitud del muro #1 (repetir para todos los muros en la misma dirección).
- $C_{N1}$ : Factor de área neta del muro
- $Ac$ : Área de cubierta o entrepiso

El factor de área neta del muro va a depender del tipo de bloque con el que los muros están construidos ya que debido a que se trata de construcción informal suelen contarse muros con diferentes tipologías de ladrillos.

Factor de Área Neta, $C_N = (\text{Área Sólida} / \text{Área bruta}) / 0.32$ <small>nota: por revoque se entiende pañete con capacidad estructural</small>			
Bloque	Sin revoque	Revoque o pañete 1 cara (1.5cm)	Revoque o pañete en 2 caras (3 cm)
4	1.00	no se contabiliza	1.51
5	0.82	1.09	1.31
Tolete (ladrillo sólido)	3.15	3.15	3.15

Tabla 1. Factores de área neta para diferentes tipos de bloque (BuildChange, 2015).

Una vez se conoce el PAM existente de la edificación se calcula el Porcentaje de Área de Muros requerido ( $PAM_{requerido}$ ) con el cual se podrá determinar si la edificación requiere o no una intervención de reforzamiento. Este PAM requerido va a depender de un porcentaje básico de área de muros que debe ser multiplicado por una serie de factores que

incluyen la resistencia los bloques de mampostería ( $C_B$ ), la calidad de obra ( $C_Q$ ), el tipo de análisis que se está realizando ( $C_R$ ), la cantidad de niveles que tiene la edificación ( $C_P$ ), el peso ( $C_W$ ) y el factor de reducción por capacidad de disipación de energía (R).

$$PAM_{requerido} = bPAM_{req} * C_B * C_Q * C_R * C_P * C_W * \frac{1}{R} \quad (2)$$

### 3.1.1 PORCENTAJE DE ÁREA DE MURO REQUERIDO BÁSICO

El porcentaje de área de muro requerido básico debe calcularse empleando la ecuación (33):

$$bPAM_{req} = 0.151 * N * Sa \quad (3)$$

Donde N es el número de niveles de la edificación y Sa la aceleración de diseño espectral definida en el Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá. El factor de 0.151 está definido con base en la resistencia al corte de la mampostería no reforzada para el cual se debe evaluar la capacidad y demanda de un muro de la siguiente manera:

$$Capacidad\ del\ muro \rightarrow V_n = v_n * \% Sólido * A_w \quad (4)$$

Donde  $A_w$  corresponde al área bruta del muro.

La resistencia al corte de la mampostería  $v_n$  se obtiene a partir de la sección D.5.8.4.2 del título D del reglamento y asumiendo de forma conservadora que no se presenta carga axial.

$$v_n = 0.2 * \sqrt{f'm} \quad (5)$$

$$v_n = 0.2 * \sqrt{1.1} = 0.210\ MPa \rightarrow 210\ kPa$$

Se asume un valor de  $f'm$  igual a 1.1 MPa para la mampostería existente teniendo en cuenta que esta proviene de ladrilleras que no cuentan con estándares de calidad en la producción de unidades de arcilla. El porcentaje de área sólida de los bloques va a depender del tamaño de unidades con los que los muros estén construidos. El manual define los cálculos presentados con base en el bloque No. 4 cuya hoja técnica se presenta en los anexos.

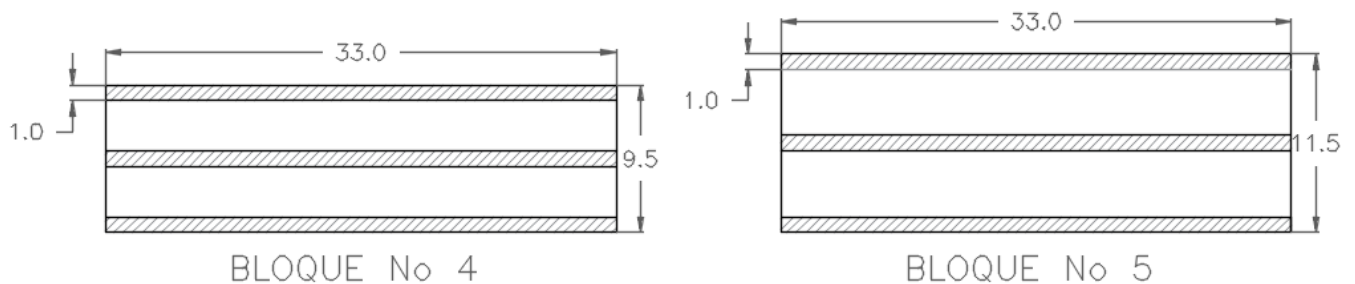


Figura 6. Dimensiones promedio de bloques de perforación horizontal en arcilla.

- Bloque No 4

$$\% \text{ sólido} = \frac{3 * 1 * 33}{9.5 * 33} = 0.317 \rightarrow 31.7\% \quad (6)$$

- Bloque No 5

$$\% \text{ sólido} = \frac{3 * 1 * 33}{11.5 * 33} = 0.261 \rightarrow 26.1\% \quad (4)$$

- Bloque macizo

Al no tener aberturas ni tabiques los bloques macizos se trabajan con un porcentaje sólido del 100%

Retomando la ecuación (4) de la capacidad del muro se obtiene

$$\text{Capacidad del muro} \rightarrow V_n = 210 \text{ kPa} * 0.317 * A_w \quad (4)$$

Luego de conocer la capacidad del muro se procede a determinar la demanda a la cual se verá sometida, de la siguiente manera:

$$\text{Demanda del muro} \rightarrow V_{UD} = F_T * C * A_B * W * N * S_a \quad (8)$$

$F_T$  corresponde a un factor para tener en cuenta la torsión y es asumido en el manual como 1.5.  $C$  es un factor que correlaciona los desplazamientos máximos inelásticos esperados con los desplazamientos calculados empleando la respuesta elástica lineal; para edificaciones de muros de corte con un solo nivel este valor es de 1.4 de acuerdo con ASCE-41. La parte de la ecuación correspondiente a  $A_B * W * N$  define el peso total de la edificación que trabajará como masa para el cálculo de las fuerzas sísmicas donde  $A_B$  es el área en planta,  $W$  el peso por metro cuadrado del piso tipo y  $N$  el número de niveles.

Para establecer el cálculo del peso de la edificación, el manual presenta un avalúo de cargas basado en una planta de piso con una configuración de muros típica de las viviendas estudiadas en la ciudad de Bogotá, donde se asume una altura de muros de 2.5 metros con un porcentaje de aberturas del 80% para un área en planta de 54 m<sup>2</sup>.

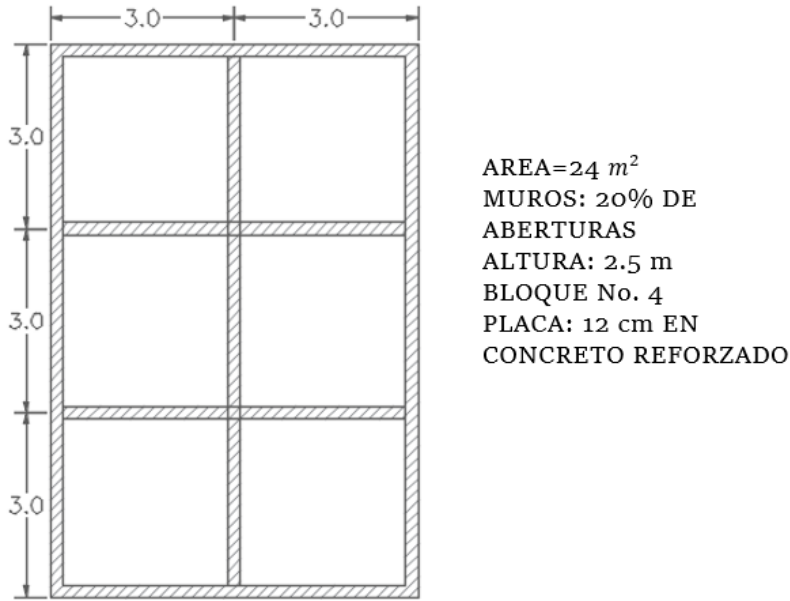


Figura 7. Esquema para avalúo de cargas en muros.

- Peso de muros:  $0.72 \text{ kN/m}^2 * 0.8 * 2.5 * (3*9 + 4*6) = 73.44/54 = 1.36 \text{ kN/m}^2$
- Peso losa de entrepiso:  $3.0 \text{ kN/m}^2$
- Peso elementos no estructurales:  $0.5 \text{ kN/m}^2$

$$Peso \text{ total} = 1.36 + 3.0 + 0.5 = 4.86 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Retomando la ecuación (8) de la demanda en los muros se obtiene:

$$V_{UD} = 1.5 * 1.4 * A_B * W * N * S_a \quad (95)$$

Al igualar las ecuaciones (4) y (9) se obtiene

$$210 \text{ kPa} * 0.317 * A_w = 1.5 * 1.4 * A_B * W * N * S_a$$

Despejando la relación  $A_w/A_b$  se obtiene el porcentaje de área de muros básico definido en la ecuación (3)

$$bPAM_{req} = \frac{A_w}{A_B} = \frac{1.5 * 1.4 * 4.86 * N * S_a}{210 \text{ kPa} * 0.317}$$

$$bPAM_{req} = 0.151 * N * S_a \rightarrow 15.1\% * N * S_a \quad (36)$$

### 3.1.2 FACTOR DE RESISTENCIA DEL BLOQUE, $C_B$

Este factor es empleado para ajustar el valor del PAM requerido debido a las diferentes resistencias que presentan las unidades de mampostería. El manual asume una resistencia de 2.0 MPa (290 psi) para los bloques No 4 y 5 de forma conservadora para el cual el valor de  $C_B$  corresponde a 1,0. En caso de tener resistencias mayores en las unidades se puede calcular el factor empleando las siguientes expresiones

$$C_B = \frac{1.05}{\sqrt{0.195 + 0.45f'_{cu}}} \text{ Para bloque No. 4 y 5} \quad (10)$$

$$C_B = \frac{1.05}{\sqrt{0.62 + 0.35f'_{cu}}} \text{ Para tolete (ladrillo macizo)} \quad (11)$$

El manual cuenta con la siguiente tabla para determinar el valor de  $C_B$ . En el caso de emplear valores de resistencia de la mampostería mayores a 2.0 MPa deben realizarse ensayos de laboratorio. En el caso de usar  $C_B$  para tolete solo se puede hacer cuando todos los muros de la planta que se está analizando están contruidos con ese material, de lo contrario se debe emplear el  $C_B$  para bloques No. 4 y 5.

Factor de Resistencia del bloque, $C_B$		
f <sub>cu</sub> de la mampostería MPa (psi) <sup>1</sup>	Factor $C_B$	
	Bloque 4 y 5	Tolete <sup>2</sup>
1.5 (218)	1.13	1.00
2.0 (290)	1.00	0.91
3.0 (436)	0.74	0.74
8.0 (1160)	0.54	0.57
12.0 (1740)	0.44	0.48
>15 (2750)	0.40	0.43

Tabla 2. Factores de resistencia  $C_B$  para diferentes resistencias de mampostería (BuildChange, 2015).

La resistencia a compresión de las unidades de mampostería puede ser determinada en ensayos de laboratorio o pruebas de campo avaladas por el reglamento. Este factor puede ser modificado realizando ensayos de compresión en muestras extraídas de los muros existentes.

### 3.1.3 FACTOR DE CALIDAD DE OBRA, $C_Q$

El factor de calidad de obra busca plasmar los detalles constructivos de mala calidad presentes en la mampostería existente no reforzada o confinada mediante una evaluación cualitativa.

$C_Q = 1.0$  para calidad común

$C_Q = 1.35$  para mala calidad

$C_Q = 1.70$  si se observa que una mayoría de las juntas verticales de la mampostería no tienen mortero.

Los valores pueden cambiarse por valores intermedios con base en los problemas de la calidad de construcción o reducirse aplicando las técnicas de reparación establecidas en el reglamento NSR-10. El manual cuenta con una serie de fotografías con las cuales

busca dar facilidad al evaluador de distinguir e identificar las falencias en los muros existentes.

### 3.1.4 FACTOR DE VULNERABILIDAD PARA EL ANÁLISIS, CR

Este factor aplicado al PAM requerido depende del tipo de análisis que se está llevando a cabo y se establece como 0.75 para el caso de estudios de vulnerabilidad de la edificación y 1.0 para el caso de estudios de reforzamiento.

### 3.1.5 FACTOR DE PISO, CP

Se emplea para tener en cuenta las demandas sísmicas generadas por los distintos niveles de la edificación debido a que la evaluación de los muros debe realizarse en cada nivel por separado. En el caso de que se estudien los muros en voladizo correspondientes al último nivel de la edificación estos también deben ser revisados para determinar si requieren reforzamiento. El manual presenta las siguientes tablas para obtener el factor Cp donde se establece si los muros soportan un entrepiso o cubierta liviana.

Nivel	# de pisos		
	1 piso	2 pisos	3 pisos
3	-	-	0.39
2	-	0.57	0.65
1	1.00	0.86	0.79

Tabla 3. Factores de piso para edificaciones con pisos y cubiertas pesadas (BuildChange, 2015).

Nivel	# de pisos		
	1-Piso	2-Pisos	3-pisos
3	-	-	0.14
2	-	0.19	0.46
1	1	0.57	0.61

Tabla 4. Factores de piso para edificaciones con cubiertas livianas (BuildChange, 2015).

En el caso de que se tenga prevista una ampliación en altura no se deben emplear los factores de la segunda tabla, sino que se debe asumir que la cubierta será pesada.

### 3.1.6 FACTOR DE PESO SÍSMICO, CW

Al realizar el reforzamiento de los muros de la edificación se le agregarán elementos nuevos o aumentarán las dimensiones de los elementos existentes, generando de esta forma un aumento en la masa y por tanto en las fuerzas sísmicas. El factor Cw se emplea para considerar esta

variación y se calcula con base en el peso incrementado y el peso existente del piso definido en el manual como 4.86 kN/m<sup>2</sup>.

$$C_w = \frac{\text{Peso sísmico distribuido}}{4.86 \text{ kN/m}^2} \quad (7)$$

El manual presenta la siguiente tabla para simplificar el cálculo del factor C<sub>w</sub> dependiendo del espesor de revoque aplicado a los muros existentes.

Factor de Peso Sísmico, C <sub>w</sub> = (Peso Sísmico real distribuido a medio nivel)/4.8kPa			
Revoque de muros (Bloque 4 o 5)	Revoques en los otros muros		
	Ninguno		
Ninguno	1.00		
1-capa de pañete (1.5cm) <50% de los muros	1.07		
1- capa de pañete (1.5cm) >50% de los muros	1.14	<b>1-Capa de pañete (1.5cm)</b>	
2- capas de pañete (3cm) <50% de los muros	1.14	1.20	
2- capas de pañete (3cm) >50% de los muros	1.27	1.27	<b>2- Capas de pañete (3cm)</b>
Recubrimiento de concreto reforzado <50% de los muros	1.32	1.38	1.45
Recubrimiento de concreto reforzado >50% de los muros	1.63	1.63	1.63
Revoque de muros (Tolete)	Revoques en los otros muros		
	Ninguno		
Ninguno	1.40		
1-capa de pañete (1.5cm) <50% de los muros	1.46		
1- capa de pañete (1.5cm) >50% de los muros	1.53	<b>1-Capa de pañete (1.5cm)</b>	
2- capas de pañete (3cm) <50% de los muros	1.53	1.60	
2- capas de pañete (3cm) >50% de los muros	1.66	1.66	<b>2- Capas de pañete (3cm)</b>
Recubrimiento de concreto reforzado <50% de los muros	1.71	1.78	1.85
Recubrimiento de concreto reforzado >50% de los muros	2.03	2.03	2.03

Tabla 5. Factores de peso sísmico para revoques comunes (BuildChange, 2015).

### 3.1.7 FACTOR DE REDUCCIÓN DE FUERZA SÍSMICA, R

El factor R se establece con base en el título A del reglamento NSR-10 y varía según si se está realizando el estudio de vulnerabilidad o reforzamiento y del sistema estructural con el que cuenta la edificación. Este factor considera la capacidad de disipación de energía de la edificación.

El manual presenta la siguiente tabla en la cual se establece el tipo de análisis que se lleva a cabo, los tipos de sistemas estructurales de resistencia para cargas laterales y verticales, el factor R correspondiente a cada uno de ellos, el factor CR y las restricciones en altura para cada zona de amenaza sísmica según el grupo de uso establecidos en el reglamento NSR-10.



Tabla A.3.1. Sistemas estructurales de muros de carga										
Sistema de Muros de Carga			R	C <sub>R</sub> <sup>(1)</sup>	Zonas de Amenaza Sísmica					
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales	Alta			Intermedia		Baja			
		Uso permitido			Altura máxima	Uso permitido	Altura máxima	Uso permitido	Altura máxima	
1. Muros estructurales										
VULNERABILIDAD	a. Muros de mampostería no reforzada (MNR)	El mismo	1	0.75	Grupo I	1 piso máximo (2)	Grupo I	2 pisos máximo (2)	Grupo I	2 pisos máximo
	b. Muros de mampostería confinada (MC) (3)	El mismo	2	0.75	Grupo I	2 pisos Máximo	Grupo I	3 pisos máximo	Grupo I	3 pisos máximo
REFERZAMIENTO	c. Muros de mampostería no reforzada o con algunos confinados	El mismo	1	1.0	Grupo I	1 piso máximo (2)	Grupo I	2 pisos máximo (2)	Grupo I	2 pisos máximo
	d. Muros de mampostería confinada (MC)	Muros de mampostería confinados	2	1.0	Grupo I	2 pisos Máximo	Grupo I	3 pisos máximo	Grupo I	3 pisos máximo
	e. Muros de mampostería reforzada externamente (1 cara) (2)	Muros de mampostería no reforzada y algunos reforzados externamente (2)	1	1.0	Grupo I	1 piso máximo	Grupo I	2 pisos máximo	Grupo I	2 pisos máximo
	f. Muros de mampostería reforzada externamente (1 cara) (2)	Muros de mampostería confinados y algunos reforzados externamente (2)	2	1.0	Grupo I	2 pisos Máximo	Grupo I	3 pisos máximo	Grupo I	3 pisos máximo

(1) C<sub>R</sub> es Factor de Vulnerabilidad descrito en la Sección A.4. de este manual.

(2) Varía de lo establecido para edificación nueva en NSR-10 para obras nuevas.

(3) Para Muros confinados ver D.10 NSR-10 y para muros diafragma si están totalmente confinados se pueden considerar como muros confinados y si solo lo están parcialmente deben cumplir las condiciones de D.11 NSR-10

Tabla 6. Factores de reducción de fuerza sísmica y de vulnerabilidad para sistemas de muros (BuildChange, 2015).

El valor del PAM requerido se encuentra definido en el manual como mayor o igual a 8% para sistemas de muros de mampostería no reforzada y mayor o igual a 4% para sistemas de muros de mampostería confinada. Si el valor del PAM existente de los muros es menor al PAM requerido se debe definir el sistema de reforzamiento para los muros de la edificación con base en las propuestas establecidas en el manual. Las metodologías propuestas en el manual se dividen en dos: Reconvertir los muros de mampostería no reforzada a muros de mampostería confinada o incrementar la superficie de muros efectiva mediante:

- Nuevos muros de mampostería
- Aumento de espesor de muros existentes
- Relleno de vanos y aberturas correspondientes a puertas y ventanas
- Aplicación de recubrimiento de pañete de concreto de 3.0 cm de espesor
- Aplicación de recubrimiento nuevo de concreto reforzado de 6.0 cm de espesor

Una vez se haya definido el sistema de reforzamiento se debe calcular el PAM efectivo que será la suma del PAM existente de los muros y el PAM correspondiente al reforzamiento

$$PAM_{efectivo} = PAM_{existente} + PAM_{reforzado} \quad (13)$$

$$PAM_{efectivo} = \frac{A_{muros\ existentes}}{A_b} + \frac{0.095 * (\sum K_m L_m + \sum K_p L_p + \sum K_c L_c)}{A_b}$$

Donde:

- $K_m$ : Factor de ajuste para muros nuevos de mampostería
- $L_m$ : Longitud de muros nuevos de mampostería
- $K_p$ : Factor de ajuste para pañete nuevo
- $L_p$ : Longitud de muros con pañete aplicado
- $K_c$ : Factor de ajuste para recubrimiento de concreto reforzado
- $L_c$ : Longitud de muros con concreto reforzado aplicado

### 3.1.8 FACTOR DE AJUSTE PARA MUROS NUEVOS DE MAMPOSTERÍA, $K_m$

Al emplear nuevos muros como reforzamiento se asume que las unidades de mampostería que los componen tendrán una mejor resistencia que las existentes. El manual establece una relación entre la resistencia a compresión del bloque y su porcentaje sólido para obtener el factor  $K_m$  empleando la siguiente tabla:

mampostería nueva <sup>2</sup>	mampostería existente <sup>1</sup>					
	$f'_{cu}$ MPa					
	1.5	2.0	3.0	8.0	12.0	15.0
Ladrillo Portante (>15MPa, 67% Sólido)	6.0	6.0	5.0	3.0	2.5	2.0
Ladrillo Estructural PV (>15MPa, 55% Sólido)	5.0	4.0	3.5	2.0	1.8	1.6
Bloque 5 PH (>3 MPa, 26% Sólido)	1.4	1.2	1.0	0.6	0.5	0.5
Relleno de Vanos, Mismo material que el existente (>2Mpa)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Tabla 7. Factor de ajuste para muros nuevos de mampostería (BuildChange, 2015).

$$K_m = \frac{\text{Longitud efectiva de muro agregada}}{\text{Longitud de muro}} \quad (14)$$

(Longitud de muro) \*  $K_m$  = Longitud efectiva de muro agregada

De esta manera, al construir un muro nuevo de mampostería empleando bloque No 5 con una resistencia a la compresión de 2.0 MPa se obtiene un factor de ajuste de 1.2, es decir que cada metro de muro nuevo construido será equivalente a 1.2 metros de muro existente.

Si  $K_m = 1.6$ :

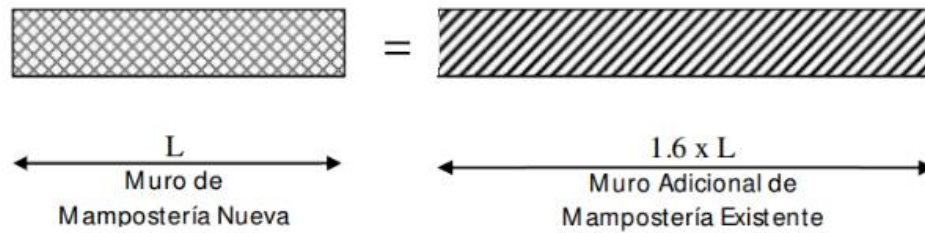


Figura 8. Ejemplo de aplicación de factor de ajuste para muros nuevos de mampostería (BuildChange, 2015).

Las variaciones en resistencia debidas al tipo de bloque empleado en el muro ya se tienen en cuenta en el cálculo del PAM requerido cuando se utiliza el factor de resistencia del bloque  $C_B$ . Las variaciones en la densidad del muro no se tienen en cuenta en el cálculo del PAM requerido de manera que deben tenerse en cuenta empleando el factor K.

### 3.1.9 FACTOR DE AJUSTE PARA PAÑETE ESTRUCTURAL, $K_p$

El manual establece que al agregar una capa de pañete al muro de mampostería de 1.5 cm por un lado se emplea un factor  $K_p$  de 1.0 y para una capa en ambas caras del muro se emplea  $K_p$  de 2.0. Esto significa que aplicar una capa de pañete en una cara del muro es equivalente a agregar una vez la longitud del muro al que se le aplicó el pañete y el doble en el caso de aplicarlo en las dos caras del muro.

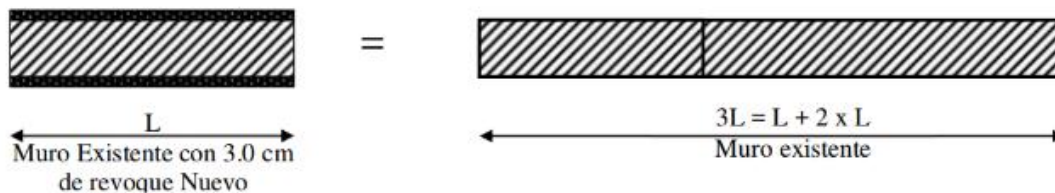


Figura 9. Ejemplo de aplicación de factor de ajuste para pañete estructural.

Para esta metodología en el caso de que los bloques presenten una resistencia mayor a 3.0 MPa no se permite la utilización de los factores mencionados anteriormente ya que agregar pañete a las caras de un muro construido con bloques de alta resistencia no aporta un aumento significativo a la resistencia frente a cargas laterales. El manual no establece que se requiera acero de refuerzo para el pañete aplicado.

### 3.1.10 FACTOR DE AJUSTE PARA RECUBRIMIENTO DE CONCRETO REFORZADO NUEVO, $K_c$

El reforzamiento empleando concreto reforzado nuevo es similar al sistema de pañete estructural debido a que al agregar 6 cm de recubrimiento de concreto se obtiene un factor  $K_c$  de 4, lo cual se considera equivalente a tener 4 veces la longitud del muro existente es decir un incremento del 400%.

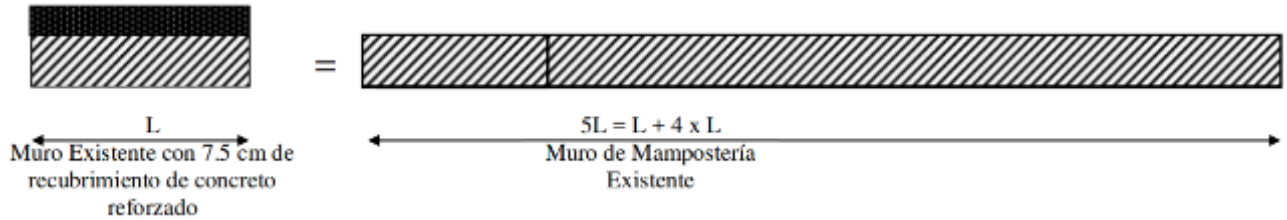


Figura 10. Ejemplo de aplicación de factor de ajuste para recubrimiento de concreto reforzado nuevo (BuildChange, 2015).

De igual manera que para el pañete estructural este valor de  $K_c$  no puede ser empleado en muros cuya resistencia sea mayor a 3.0 MPa ya que no se incrementará la resistencia del muro a cargas laterales. El manual no establece qué cuantías de acero mínimas deben emplearse para el diseño de esta metodología ni los tamaños máximos o mínimos de las barras de refuerzo sino que se debe recurrir a los valores establecidos en el reglamento NSR-10.

Con base en los cálculos realizados para la deducción de la ecuaciones y la definición de los factores con los que se ha desarrollado el manual se establecieron cuáles serían objeto de estudio en esta investigación. Estos factores son:

- Resistencia al corte en mampostería no reforzada
- Factor de área neta
- Factor de ajuste para pañete estructural
- Porcentaje de área de muros requerido básico

Al evaluar estos factores se busca validar la metodología planteada por Build Change en el manual mediante información experimental y analítica obtenida en esta investigación.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 ANTECEDENTES

La ocurrencia de los movimientos sísmicos en Colombia y el mundo han servido para el desarrollo de la ingeniería sísmica y la investigación debido a que al darse este tipo de fenómenos naturales las estructuras presentan un comportamiento que genera inseguridad en los habitantes y que no resulta ser efectivo debido al sistema estructural y la calidad de construcción con los cuales fueron realizados. En Colombia el Servicio Geológico Colombiano (antes INGEOMINAS) cuenta con registros de diferentes sismos que han afectado a poblaciones y generado una gran destrucción debido al mal comportamiento de los materiales e ineficaz sistema estructural de algunas estructuras.

- Sismo de Popayán (1983): Con una magnitud de 5.6 en la escala de Richter, y una profundidad de 46 km causó la muerte de 25 personas y 1500 heridos, casi 5000 construcciones destruidas y 13796 viviendas con daños graves (Servicio Geológico Colombiano, SGC).



Figura 11. Vivienda en mampostería colapsada por terremoto de Popayán. Tomado de: <https://www.eluniversal.com.co/colombia/yo-vivi-el-terremoto-de-popayan-cronica-de-un-sobreviviente-114188-BSEU201110>

- Sismo del Eje Cafetero (1999): Magnitud de 6.1 Mw y a una profundidad de 17 km, la cifra total de muertos resultó en 1171, 4765 heridos y cerca de 45000 viviendas afectadas (INGEOMINAS, 1999).



Figura 12. Vista panorámica de la destrucción generada por el terremoto del Eje Cafetero. Tomado de: <https://www.elspectador.com/noticias/nacional/se-conmemoran-15-anos-del-terremoto-de-armenia-articulo-470817>

- Sismo de Tauramena (1995): Magnitud de 6.5 en la escala de Richter y a una profundidad menor a los 30 km. 6 muertos y daños no graves en algunas estructuras.

En las zonas donde los terremotos ocurrieron, las viviendas y edificaciones que colapsaron estaban en su mayoría construidas con MNR, mostrando así que este tipo de sistema estructural no presenta un desempeño que cumpla con los requerimientos de seguridad mínimos establecidos por los reglamentos. En cuanto a los mecanismos de falla, se han estudiado diferentes tipologías que pueden presentarse en este sistema estructural. San Bartolomé (1994) establece una serie de tipos de falla que suelen presentarse en edificaciones MNR al verse sometidas a movimientos sísmicos y suelen ser las causas de la mayoría de los colapsos: Deslizamiento de placas o cubiertas (Figura 11), caída de muros perimetrales (figura 12), agrietamiento diagonal en muros (Figura 13), fallas localizadas en aberturas de ventanas y puertas, caída de elementos estructurales, etc.



Figura 13. Colapso de cubierta en vivienda de mampostería. Nepal, 2015. Tomado de: Performance of Residential Buildings during the M 7.8 Gorkha (Nepal) Earthquake of 25 April 2015.





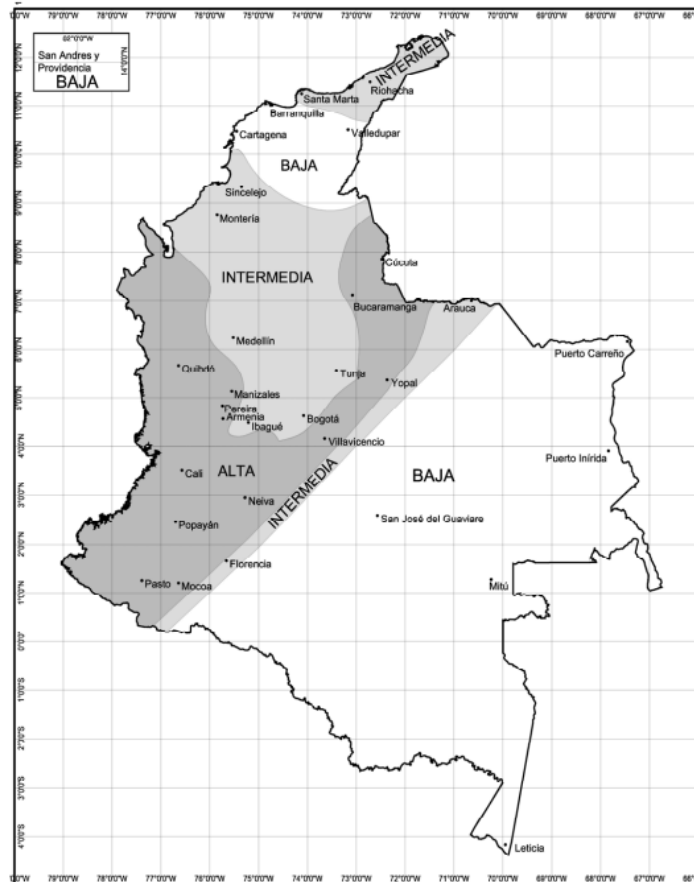
Figura 14. Colapso de muro de mampostería perimetral. Tomado de: [https://inspectapedia.com/structure/Brick\\_Structure\\_Damage.php](https://inspectapedia.com/structure/Brick_Structure_Damage.php)



Figura 15. Agrietamiento diagonal en muros de mampostería. Tomado de: "Confines Masonry Buildings: Key Components and Performance in Past Earthquakes". Svetlana, 2014.

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (AIS, 2010) establece los requerimientos mínimos de diseño para la construcción de edificaciones en Colombia que deben cumplirse para garantizar un comportamiento adecuado frente a sismos de diversas intensidades y una protección frente al colapso para sismos intensos; sin embargo, esta normativa no se aplica en todos los casos debido a diversos factores como: el crecimiento irregular de las ciudades, la falta de regulación en procedimientos de construcción en zonas de crecimiento informal, el conocimiento técnico que se requiere para su empleo o los costos de diseño. Esto conlleva a encontrar un gran número de viviendas que no se diseñaron para soportar un movimiento sísmico

y podrían colapsar incluso antes de que termine el movimiento. Debido a la baja capacidad para soportar las fuerzas generadas por un sismo sin daño considerable que presentan las estructuras construidas con MNR y la amenaza a la que pueden estar sometidas, es indispensable estudiar cómo mejorar el comportamiento de estas edificaciones para evitar víctimas fatales y enormes pérdidas sociales y económicas



**Figura 16.** Mapa de zonas de amenaza sísmica en Colombia. Tomado de: Título A. NSR-10. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

En la ciudad de Bogotá, la cual se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia, se han venido formando a lo largo de los años zonas en las cuales la construcción es completamente informal, encontrando edificaciones de baja altura (entre 1 y 3 pisos por lo general, sin excluir edificaciones de más niveles) elaboradas con muros de mampostería sin ningún refuerzo que solo pueden mantener las cargas gravitacionales de la estructura (peso propio y carga viva). Con base en ensayos de laboratorio en los que se ha estudiado el comportamiento de muros de MNR, se ha encontrado que su comportamiento frente a cargas laterales (originadas por sismos, por ejemplo) es deficiente, que tienen una vulnerabilidad alta y que probablemente se presentarían fallas súbitas que pueden terminar en colapsos, evitando que sus habitantes puedan desalojarlas y arriesgando así sus vidas y bienes materiales.



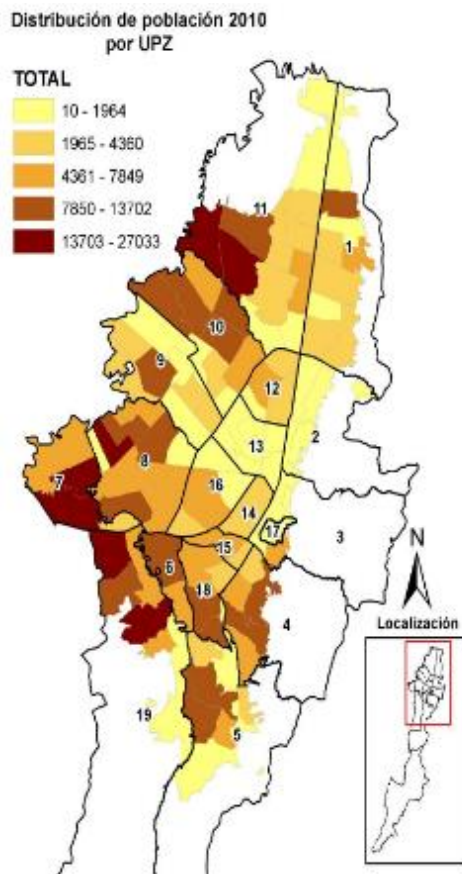


Figura 17. Proyecciones de población Bogotá 2010. Fuente: DANE.

La responsabilidad de la calidad de las estructuras se fundamenta en los propietarios y los entes gubernamentales que deben prestar atención a los tipos de vivienda informal existentes para poder tener un control y así, empleando las regulaciones distritales y nacionales se pueda reducir el riesgo de pérdidas debidas al erróneo uso de MNR e inadecuados métodos constructivos. (Cano, Monsalve, Agudelo, Upegui, & Jaramillo, 1997).

En Colombia la vivienda informal crece exponencialmente cada año y no se ha logrado establecer un control por parte de los entes gubernamentales. Se estima que cerca del 30% de las construcciones correspondientes a vivienda en la capital del país no cuenta con licencias de construcción y diseños estructurales de forma que se consideran como vivienda ilegal (Ariza, 2010). En el censo del 2005 se encontró que el 50% de la población en Colombia se encuentra en un alto nivel de vulnerabilidad (DANE, 2005), cifra se ve reflejada en Bogotá, donde algunas de las zonas que mayor crecimiento poblacional como lo son San Cristóbal, Tunjuelito y Candelaria presentan en su mayoría viviendas de construcción informal, la cuales no cuentan con ningún diseño sísmico y por lo general con licencias de construcción para la construcción de solo un nivel, como se muestra en la ilustración 4.

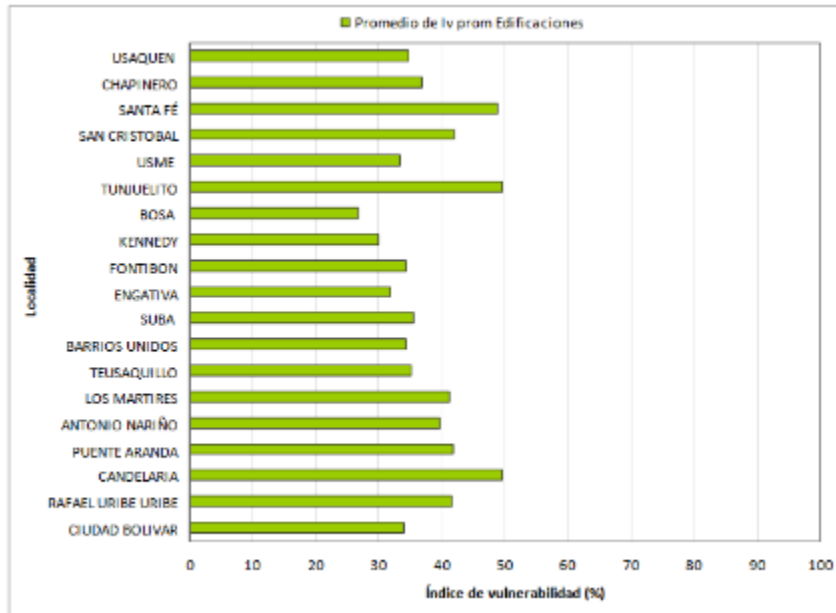


Figura 18. Índice de vulnerabilidad sísmica por localidad en Bogotá. (FOPAE, 2011).

El Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático – IDIGER calculó los índices de vulnerabilidad que se pueden presentar en las diferentes localidades de la ciudad de Bogotá, mostrando que, en todas estas, el índice no es menor al 25%. Con base en este índice, y suponiendo que se presentará un sismo cuya intensidad fuera cercana a 7.0, se hizo una estimación de la cantidad de víctimas mortales que podría presentarse por localidad. Véase la Figura 5.

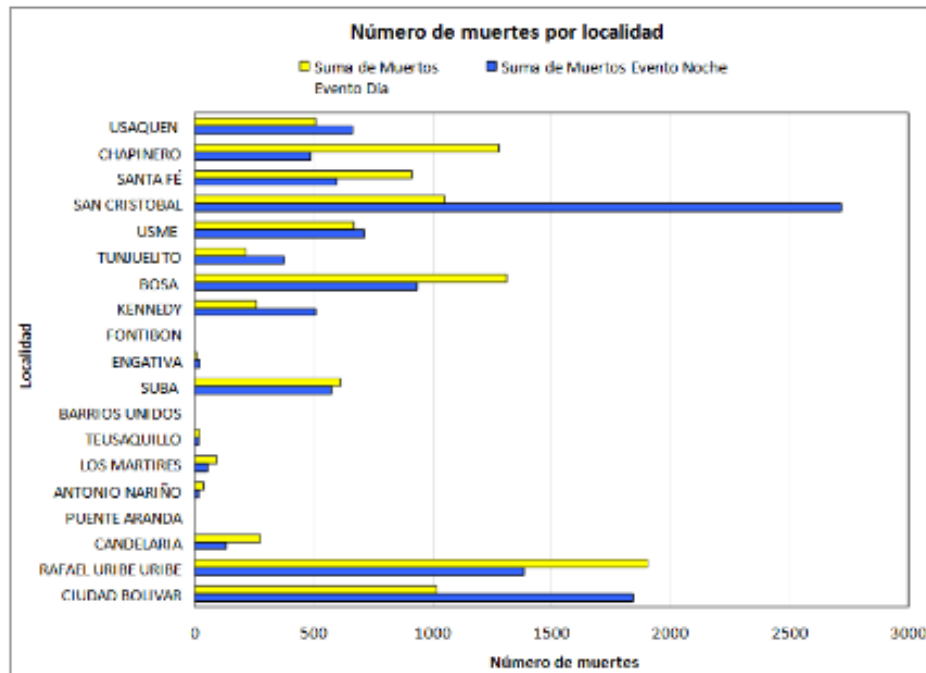


Figura 19. Posible número de muertes por localidad en caso de un sismo de magnitud 7.0 en Bogotá. (FOPAE, 2011).

Las localidades en las que se tiene conocimiento de que la vivienda informal predomina debido a la invasión de predios y construcción sin licencias son las que presentan un posible mayor número de muertes en caso de presentarse un evento sísmico de magnitud 7.0.

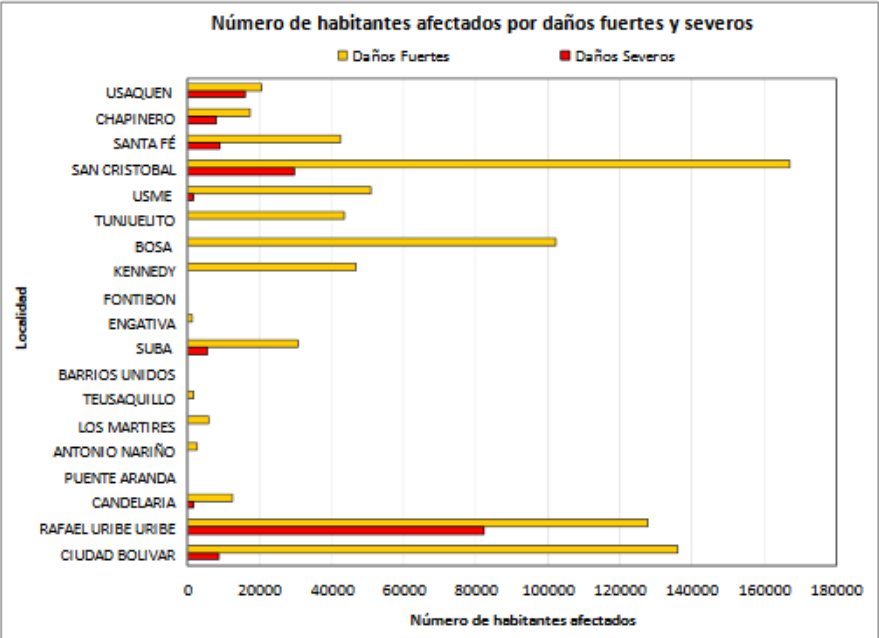


Figura 20. Posible número de habitantes afectados por localidad en caso de un sismo de magnitud 7.0 en Bogotá. (FOPAE, 2011).

Cabe aclarar que, en el caso de presentarse dicho movimiento sísmico, el efecto no generaría solo pérdidas económicas y de vidas humanas a corto plazo, pues debido a que la destrucción en ciertas localidades de Bogotá, con altas densidades poblacionales, podrían generar un alto impacto negativo social y esto traería consigo una crisis económica en la cual se vería afectado todo el país ya que la población tardaría en retomar sus actividades laborales y en restablecer sus viviendas.

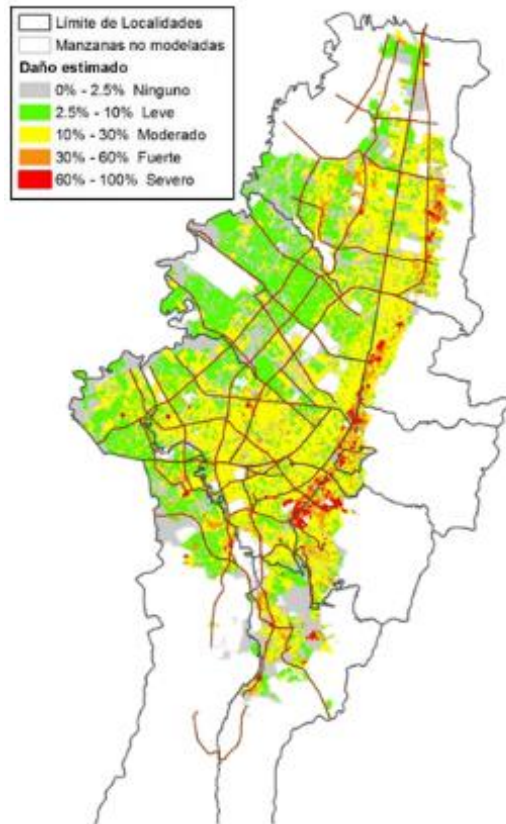


Figura 21. Escenario de daño para un evento sísmico de magnitud 7.0 a 40 km de profundidad en Bogotá. Fuente: IDIGER – Riesgo sísmico.

Estos datos dan como resultado la necesidad de buscar alternativas para mejorar la vivienda informal en Bogotá y mitigar el riesgo al que está expuesta, generando conciencia en las localidades donde se pueden llegar a presentar los mayores porcentajes de pérdidas y, mediante un manual de fácil entendimiento y uso, buscar la mejor alternativa para evitar el colapso de estructuras que no fueron hechas cumpliendo los lineamientos mínimos para poder ser habitadas.

En cuanto a los sistemas constructivos de mampostería, se trata de un material para la construcción que se ha utilizado desde hace más de 10000 años en civilizaciones antiguas, cuyos rastros pueden verse evidenciados en ciudades de Egipto o la ya extinta Babilonia. Este tipo de construcción se denomina de esta forma para describir el uso de bloques de arcilla, concreto o piedra que se unen mediante un material ligante que forma una estructura que va a lograr soportar carga (R. Drysdale, A. Hamid, 1994). La MNR hace referencia a un tipo de sistema estructural compuesto por bloques de arcilla o concreto unidos mediante un material ligante y que no cuentan con un sistema de confinamiento o refuerzo (barras de acero) para el cual se ha establecido que no cumple con los requerimientos establecidos por los reglamentos de construcción y diseño (FEMA, 2009).

Este material presenta unas características que impiden predecir su comportamiento con facilidad y precisión utilizando los métodos tradicionales de análisis, razón por la cual su estudio se ha venido profundizando con el paso del tiempo. La MNR es un sistema que puede presentar problemas de ductilidad y baja disipación de energía, lo cual puede provocar daños que podrían ser leves o incluso llegar a causar el colapso de la edificación al verse sometida a un sismo.

Al no ser capaz de soportar ciertas sollicitaciones, en su gran mayoría dinámicas, la MNR puede llegar a presentar problemas de ductilidad y baja disipación de energía, provocando daños que podrían ser leves o incluso llegar a causar el colapso de la edificación debido a la baja resistencia que presentaría el sistema estructural al verse sometido a un sismo.



Figura 22. Placa de advertencia en edificio de MNR (Abarca Torres, 2018).

Actualmente los organismos distritales encargados de ejecutar las políticas en materia de hábitat en la capital, como la Caja de Vivienda Popular de Bogotá, han brindado atención a los propietarios de estos tipos de estructuras para adquirir las licencias de construcción y que las edificaciones cuenten con todos los parámetros necesarios establecidos por el reglamento NSR10 buscando que sean considerados como vivienda formal y cumplan con los requerimientos mínimos. Dentro de las posibles soluciones que se han presentado está la de cambiar el sistema estructural de muros a un sistema de pórticos resistentes a momento en concreto o reemplazar los muros existentes por muros de mampostería reforzada. Esta alternativa consiste en replantear nuevamente todo el sistema estructural de la vivienda, y llevaría a una intervención cuyo costo podría compararse con el de la construcción de una edificación nueva. Por este motivo estas metodologías pueden resultar extremadamente costosas y poco llamativas para los usuarios que no tienen los recursos necesarios para emplearlas.

Se han realizado diferentes investigaciones en el mundo buscando otras soluciones para que los muros existentes de las viviendas informales puedan ser reforzados y que la estructura se desempeñe de forma correcta durante su vida útil sin necesidad de

alterar las condiciones generales de la misma. El uso de materiales poliméricos reforzados con fibras o mejor conocido como “FRP” ha tomado fuerza en los últimos años en las investigaciones debido a que son un material liviano y se ha encontrado que su uso como método de reforzamiento puede ayudar a mejorar el comportamiento dúctil de los muros frente a cargas cíclicas (Vega, 2015).

Al emplear estas fibras como reforzamiento en los muros de mampostería de arcilla no reforzada se encontró que la reducción del daño en los muros fue satisfactoria, llegando a un estado de deterioro en el cuál no se presenta el colapso de forma repentina. (E.D. Bastidas, L.F. Molina, L. Yamin, A.Sarria, 1999). En el uso de este tipo de reforzamiento se puede ver que el costo de las fibras ya sea como material o la mano de obra especializada que se requiere para emplearlas puede llegar a ser muy elevado debido a que se trata de un sistema que en Colombia no suele emplearse regularmente, de manera que no se facilitaría para los propietarios de este tipo de viviendas al igual que el método de los sistemas de pórticos en concreto reforzado.

En otros trabajos se ha propuesto emplear una malla de acero electro soldada y mortero de pañete en el muro para aumentar la resistencia tanto a corte como a flexión dentro y fuera del plano y mejorar el comportamiento del muro (N. López, 2016). Al tratarse de un material liviano cuyo peso por unidad de área no es significativo a comparación del peso propio del muro se considera como una gran ventaja con respecto a otros métodos de reforzamiento. El uso de este tipo de reforzamiento es más sencillo debido a que no requiere una mano de obra especializada (como si es el caso de emplear las fibras FRP) de forma que el reforzamiento de un muro empleando esta metodología puede resultar más económico y asequible para los propietarios de las viviendas pues se puede reforzar un muro con materiales que los constructores saben instalar y su adquisición no es complicada pues en Colombia estos elementos son usados con gran frecuencia y comercializados en las zonas donde se encuentran las viviendas.

## **4.2 COMPONENTES DE LOS MUROS DE MAMPOSTERÍA**

El comportamiento de las edificaciones construidas empleando bloques de mampostería ha sido objeto de estudio a lo largo de la historia y en diferentes partes del mundo debido a que su uso es extensivo en países en desarrollo dado que es un sistema de construcción sencilla y cuyos materiales son de fácil adquisición. Al analizar un muro de mampostería debe tenerse en cuenta que está compuesto por diferentes componentes que interactúan entre sí y presentan diferentes propiedades mecánicas, de manera que el muro completo no puede analizarse de forma lineal – elástica debido a que, al contar con muy baja resistencia elástica al corte y a la tensión, no permanecerá en el rango elástico y deben tenerse en cuenta consideraciones más específicas como modelos no lineales que describan con precisión el comportamiento del material para tener una idea del desempeño real de los muros construidos empleando bloques de mampostería. El comportamiento de un muro va a depender de los materiales que lo componen, ya que la integridad de este se basa en la colocación de bloques en filas que se apoyarán ortogonalmente sobre otras filas inferiores lo que garantizará la conexión

de varios bloques formando un sistema continuo (Giuffre, A, 1989). Los bloques o unidades de mampostería son el principal componente de los muros, los cuales presentan una serie de características que determinan su comportamiento al momento de ser estudiados como lo son su resistencia a compresión, resistencia a tensión, absorción, etc.

#### 4.2.1 UNIDADES DE MAMPOSTERÍA

Las unidades de mampostería de arcilla empleadas en la construcción de muros en Colombia suelen encontrarse de diferentes configuraciones y tamaños. Las unidades que más suelen encontrarse en los construidos en las viviendas informales de Bogotá suelen ser aquellas que cuentan con una forma prismática, donde dos de sus seis caras quedarán a la vista y las cuatro restantes se unirán mediante el mortero de pega a los otros bloques.

El proceso de fabricación de los bloques de arcilla consiste en pulverizar y tamizar la arcilla extraída en campos a cielo abierto para luego pasar por un proceso de extrusión en el cual se le da la forma que se requiere. Mediante un proceso de secado rápido y cocción, la arcilla empieza a tomar propiedades de dureza y resistencia ya que al verse sometida a cambios de altas temperaturas se genera un proceso fisicoquímico de calentamiento. Este proceso puede ayudar a establecer si la arcilla presenta las características necesarias para que los bloques puedan ser empleados en construcción.

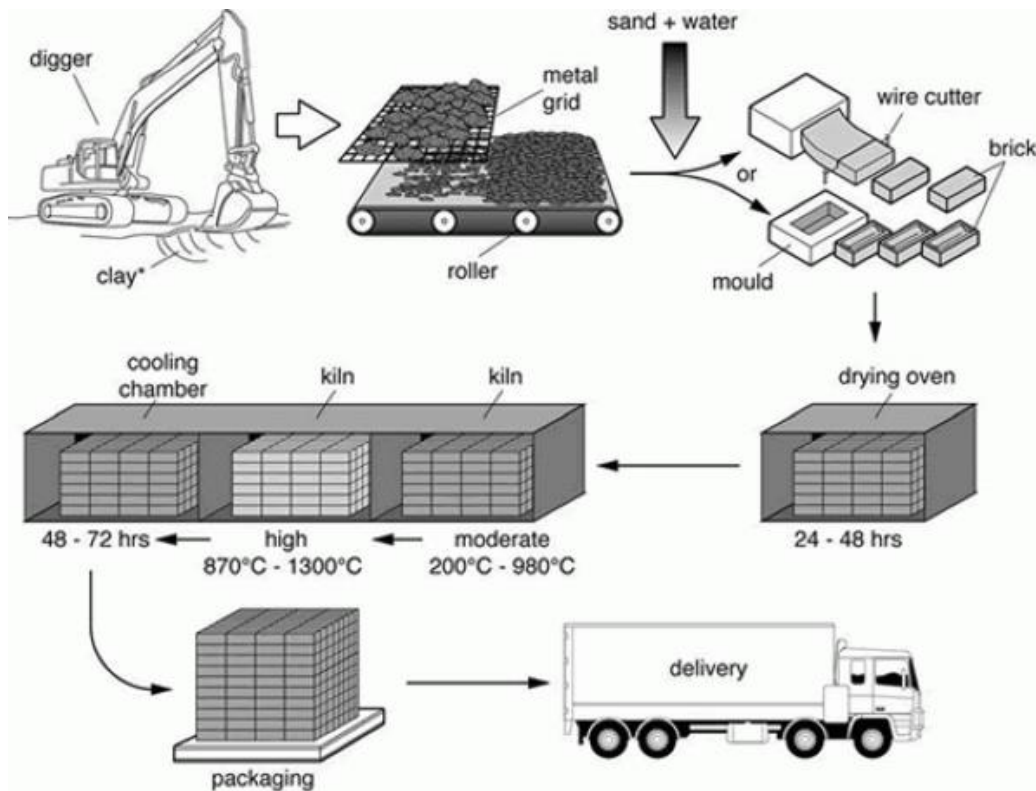


Figura 23. Proceso de fabricación de bloques de mampostería de arcilla



El reglamento NSR-10 establece que los tipos de unidades que pueden emplearse en construcciones pueden ser de concreto, cerámica (arcilla cocida), sílico-calcáreas o de piedra. Estas unidades pueden ser de perforación vertical, perforación horizontal o sólidas (aquellas cuyas cavidades ocupan menos de un 25% del volumen de la pieza). Takeuchi (Takeuchi, 2017)(Takeuchi, 2017)(Takeuchi, 2017)(Takeuchi, 2017)(Takeuchi, 2017)(Takeuchi, 2017) establece cinco tipos de bloques de mampostería que suelen emplearse en la construcción de muros, distinguiéndose según la configuración de las aberturas y su ubicación (Takeuchi 2017):

- Ladrillos sólidos macizos
- Ladrillos sólidos con cavidades
- Unidades de perforación vertical (sin perforaciones secundarias)
- Unidades de perforación vertical (con perforaciones secundarias)
- Unidades de perforación horizontal

El uso de unidades de perforación horizontal es el más común en las viviendas de construcción informal en Bogotá, debido a su bajo costo y alto rendimiento del material cuando se construyen muros. Suelen ser bloques livianos cuyo tamaño varía según el tipo de molde que se emplea para su fabricación y las dimensiones de las perforaciones interiores, las cuales pueden variar en número y tamaño según el fabricante. Debe aclararse que en su mayoría las viviendas construídas con mampostería no emplean bloques adquiridos en ladrilleras certificadas, sino que, debido al menor costo, adquieren sus materiales de construcción en bodegas que, en general, no ofrecen un control de calidad riguroso de sus productos ni información fiable sobre sus propiedades físicas y mecánicas. En cuanto a las normas de producción y calidad de las unidades de mampostería, éstas se diferencian según el material a partir del cual se fabrican:

- Unidades de concreto: Dependiendo de la configuración de la unidad (tolete, perforación vertical) se emplean las normas NTC 4026 y NTC 4076.
- Unidades de arcilla: Similar a las unidades de concreto, se emplea según su configuración siguiendo las normas NTC4205 (1, 2 y 3).
- Unidades sílico-calcáreas: Deben cumplir con la norma NTC922.



### Bloques Divisorios De Perforación Horizontal



Figura 24. Bloques de perforación horizontal Ladrillera Santafé. Tomado de: <https://www.santafe.com.co/wp-content/uploads/2019/07/productos.pdf>

### Bloques Divisorios De Perforación Vertical



Figura 25. Bloques de perforación vertical Ladrillera Santafé. Tomado de: <https://www.santafe.com.co/wp-content/uploads/2019/07/productos.pdf>

Para poder tener un conocimiento del posible comportamiento de un muro formado por bloques de mampostería de arcilla se deben conocer sus propiedades mecánicas.

#### 4.2.1.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Las unidades de mampostería cuentan con una buena resistencia a la compresión siempre y cuando su forma geométrica esté bien definida, dado que si una unidad presenta alabeo o roturas en alguna de sus caras la resistencia a la compresión puede verse comprometida. Esta característica suele emplearse como un índice de calidad de la mampostería, ya que la resistencia de los bloques se verá reflejada en la resistencia del muro completo al verse sometido a cargas laterales pues el comportamiento dentro del plano depende de las propiedades de compresión de la mampostería, especialmente

si este es el factor que predomina como mecanismo de resistencia a la flexión (Haach, Vasconcelos, & Lourenço, 2011).

#### **4.2.1.2 RESISTENCIA A TENSIÓN**

Debido a que la mampostería es un material frágil que no cuenta con la capacidad de soportar cargas de tensión sin presentar fracturas de forma rápida durante su evaluación en laboratorio esta propiedad suele tener dificultades para su estimación experimentalmente.

El cálculo de la resistencia a la tensión de las unidades de mampostería debe determinarse empleando ensayos experimentales indirectos y su valor suele darse como una fracción de la resistencia a la compresión de manera similar al concreto reforzado (S. López, 2013).

#### **4.2.1.3 MÓDULO DE ELASTICIDAD**

Para realizar la modelación de elementos finitos es necesario conocer el valor del módulo de elasticidad de las unidades y poder obtener resultados que se asemejen a los obtenidos experimentalmente. El cálculo del módulo de elasticidad de las unidades de mampostería puede realizarse empleando la ecuación propuesta por Arango & Bernal (2000).

$$E_u = 0.313 K(W_u^{1.5})\sqrt{f'_{cu}} \quad (15)$$

Donde

- K: 0.11
- $W_u$ : Densidad de la unidad de mampostería [kg/m<sup>3</sup>]
- $f'_{cu}$ : Resistencia a la compresión de la unidad con corrección por esbeltez [MPa]. Para valores de densidad promedio de 1880 kg/m<sup>3</sup>; resistencia a la compresión entre 5 y 6 MPa y correcciones por esbeltez de 1.2 se puede obtener un valor de módulo de elasticidad teórico empleando la ecuación anterior (S. López, 2013).

$$E_u \approx 1120 f'_{cu} \quad (16)$$

#### **4.2.1.4 RELACIÓN DE POISSON**

La determinación de la relación de Poisson puede dificultarse debido a su complejidad de medición en los ensayos y a la ausencia de normas que establezcan un método práctico para obtener resultados experimentales confiables. Este valor puede variar entre 0.13 y 0.2 (S. López, 2013).

#### **4.2.1.5 HUMEDAD, EXPANSIÓN TÉRMICA Y CREEP**

La humedad, expansión térmica y el creep puede causar expansión o contracción de los bloques de mampostería y esto puede generar esfuerzos en el bloque y los elementos

que lo rodean. En la tabla 8 del código del *Masonry Standards Joint Committee* (MSJC) se presentan valores promedio de estas propiedades obtenidos a partir de ensayos experimentales y análisis estadísticos.

**MSJC Code Dimensional Stability Coefficients for Clay and Shale Unit Masonry**

Material Property	Coefficient
Irreversible Moisture Expansion	$3 \times 10^{-4}$ in./in. ( $3 \times 10^{-4}$ mm/mm)
Creep	$0.7 \times 10^{-7}$ in./in./psi ( $1 \times 10^{-5}$ mm/mm/MPa)
Thermal Expansion and Contraction	$4 \times 10^{-6}$ in./in./°F ( $1 \times 10^{-5}$ mm/mm/°C) <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Conversion based on equivalent deformation at 100 °F (38 °C).

Tabla 8. Coeficientes de estabilidad dimensional para unidades de arcilla. (Industry Association, 1992).

#### 4.2.1.6 ABSORCIÓN

La absorción de agua en las unidades es una propiedad que afecta la resistencia de la mampostería como sistema, esto debido a que los bloques pueden absorber el agua que se encuentra en la mezcla de mortero de pega y reducir así su resistencia. En las especificaciones del MSJC se establece una absorción inicial de 30 g/min/30 in<sup>2</sup> (1.55 kg/min/m<sup>2</sup>) para unidades de arcilla, de manera que recomienda humedecer las unidades antes de ser colocadas. Por otra parte, recomiendan que, en caso de tener un valor mayor de absorción de agua se emplee un mortero con mayor retención de agua (Industry Association, 1992).

#### 4.2.2 MORTERO DE PEGA

En la antigüedad no se solía emplear un material que generara adherencia entre los bloques o unidades que conformaban el muro, sino que se mantenía la unión de los bloques debido a la fricción generada entre las caras de estos. Con el paso de los años y el desarrollo de nuevas técnicas constructivas se empezaron a utilizar morteros compuestos por cal, arena y piedra triturada. Los primeros tipos de mampostería eran contruidos empleando bloques de piedra de tamaños regulares que se unían mediante delgadas capas de mortero para asegurar la integridad de la mampostería. Ejemplos de estas tipologías se pueden encontrar en estructuras romanas denominadas como *opus quadratum* (capas de rocas unidas con o sin mortero) o en trabajos de piedra de catedrales góticas (D'Ayala & Speranza, 2003).



Figura 26. Torre Mervinslaw en Escocia, data del año 1600. (Aosmhor, 2014)

El tipo de mortero empleado en construcciones informales hoy en día varía debido a que los materiales empleados para su elaboración no están estandarizados y suelen adquirirse en bodegas que no cuentan con la información correspondiente a las propiedades mecánicas de estos. Los muros de mampostería actualmente se construyen con mortero de cemento y arena de peña o de río. Este mortero busca dar una adherencia suficiente entre los bloques para formar un conjunto uniforme, de manera que debe cumplir con especificaciones técnicas que garanticen su funcionamiento. Según el reglamento NSR 10, se distinguen 4 tipos de mortero según sus propiedades o proporción.

Tabla D.3.4-1  
Clasificación de los morteros de pega por propiedad o por proporción

Mortero tipo	Especificación de los morteros por propiedad <sup>(1)</sup>			Especificación de los morteros por proporción				
	Resistencia mínima a la Compresión $f'_{cp}$ MPa <sup>(2)</sup>	Flujo en (%) <sup>(3)</sup>	Retención Mínima de Agua	Cemento Portland	Cal hidratada <sup>(4)</sup>	Cemento para Mampostería <sup>(7)</sup>	Arena/Material Cementante <sup>(5)</sup>	
							Mín.	Máx.
<b>H</b>	22.5	115-125	75%	1	0.25	no aplica	2.00	2.5
<b>M</b>	17.5	115-125	75%	1	0.25	no aplica	2.25	3.0
				1	no aplica	1	2.25	2.5
<b>S</b>	12.5	110-120	75%	1	0.25 a 0.50	no aplica	2.50	3.5
				0.5	no aplica	1	2.50	3.0
<b>N<sup>(6)</sup></b>	7.5	105-115	75%	1	0.50 a 1.25	no aplica	3.00	4.5
				0	no aplica	1	3.00	4.0

Notas:

1. Solo para el diseño de mezclas de morteros en laboratorio, con base en los materiales que van a ser utilizados en obra. El control de morteros en obra se debe realizar de acuerdo con la norma NTC 3546 (ASTM C780).
2. Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días en cubos de 50 mm de lado
3. Ensayo realizado según NTC 4050 (ASTM C91)
4. Se puede utilizar cal hidratada en polvo tipo N o S.
5. Para este cálculo no se incluye como cementante la cal.
6. El mortero tipo N solo se permite en sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (*DMI*)
7. El tipo de cemento para mampostería (M, S o N) será el mismo que el tipo de mortero de pega.

Tabla 9. Clasificación de morteros de pega por propiedad o proporción. Tomado de Título D – NSR10. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

Se ha encontrado que la relación entre material cementante y arena utilizada para la elaboración de morteros en la ciudad de Bogotá varía entre 1:2 y 1:3, empleando como material cementante cemento Portland y en algunos casos suele combinarse con cal hidratada o cemento para mampostería (Takeuchi, 2017). En los laboratorios de la Escuela Colombiana de Ingeniería se trabajó con muestras de mortero removidas de muros existentes pertenecientes a viviendas que habían sido intervenidas para su reforzamiento y mediante un procedimiento químico se encontró que la relación entre cemento y arena era de 1:3. En cuanto al tipo de arena, la de peña suele encontrarse con más frecuencia en las mezclas de mortero de pega empleadas en la construcción informal de las viviendas debido a que esta tiene un costo más bajo que la arena de río. Se ha encontrado que las dosificaciones de mortero empleando los dos tipos de arena cumplen con los requerimientos establecidos en el reglamento NSR-10 dando resistencias a la compresión superiores a los valores mínimos establecidos por la normativa colombiana, pero los morteros de pega con arena de río requieren mayores relaciones de arena: cemento para obtener la misma resistencia a la compresión (G. López & Pérez, 2017).

#### 4.2.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión del mortero de pega es función de la relación de agua – material cementante que se emplee en su preparación y mezcla. Para evaluar esta propiedad del mortero se deben tomar muestras mientras se realiza el levantamiento del muro y deben ser ensayadas de acuerdo con la norma NTC220. La resistencia a la compresión obtenida no debe ser menor a la establecida en la tabla D3.4-1 del reglamento NSR-10 según el tipo de mortero que se haya especificado.

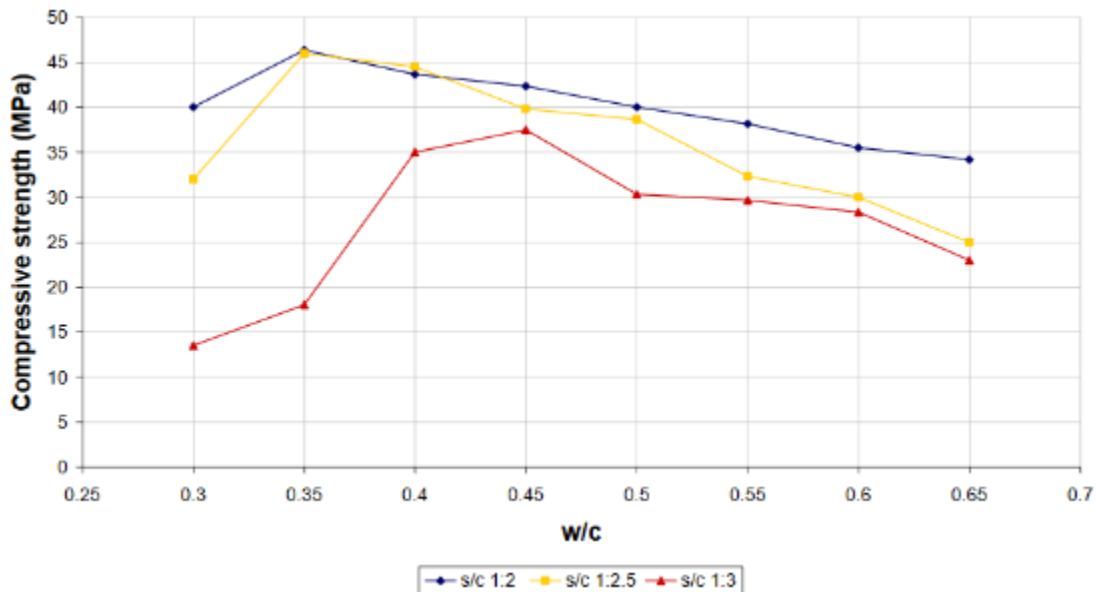


Figura 27. Gráfico comparativo de Resistencia a compresión vs. Relación agua cemento para diferentes proporciones (Still, 2004).

#### 4.2.2.2 RESISTENCIA A LA TENSIÓN

Este valor suele obtenerse de manera indirecta y se ha encontrado que resistencia a la tensión también va a depender de la relación agua – material cementante. Así mismo,

se reporta en la literatura que la resistencia a tensión del mortero suele estar entre 5 y 10% de la resistencia a la compresión cuyo valor también se ve condicionado por las condiciones de humedad que se tengan al momento de realizar el ensayo.

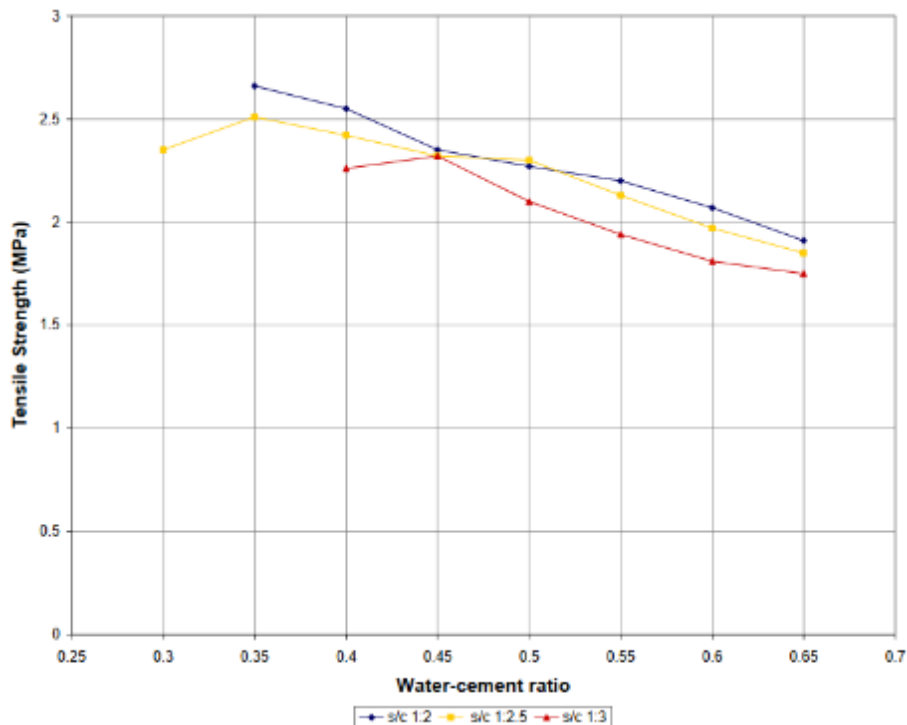


Figura 28. Gráfico comparativo de Resistencia a tensión vs. Relación agua cemento para diferentes proporciones (Still, 2004).

### 4.3 MUROS DE MNR

El reglamento NSR-10 define la MNR como la construcción de una serie de piezas de mampostería unidas entre sí mediante mortero que no cumple las cuantías mínimas de refuerzo establecidas para ser considerado mampostería parcialmente reforzada (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010). Para la construcción de este tipo de muros se forman filas de bloques conocidas como hiladas, las cuales se van apoyando una tras otra dándole forma a un sistema cuyas dimensiones de base y altura son mayores que su espesor. Estas hiladas se apoyan en la base en una viga de cimentación y en algunos casos cuentan con una viga superior de coronación, que se encarga de transmitir las cargas a la cimentación o al sistema de entrepiso según el nivel de la estructura. Algunos muros tienen aberturas correspondientes a los espacios para ventanas o puertas, los cuales cuentan con elementos adicionales como dinteles o marcos. En las viviendas que se han estudiado en las visitas programadas por la organización Build Change se encontró que se suelen distinguir tres tipologías de muros:

- Muros de fachada: Estos muros son aquellos que quedan expuestos al exterior de la edificación y por lo general no suelen contar con un porcentaje de área de corte importante debido a que allí se encuentra la mayoría de las aberturas, usualmente de gran tamaño. Dependiendo de la configuración en planta de la



edificación, ésta puede contar con uno o incluso dos muros de fachada en los casos de que estas viviendas estén ubicadas en una esquina.



Figura 29. Vivienda construida en MNR. Tomado de:  
<http://edificacionesdecalidad.com/autoconstrucci%C3%B3n-alba%C3%B1iler%C3%ADa-sismorresistente>

- Muros interiores: En el interior de las viviendas se suelen encontrar sistemas de muros que cumplen la función de dividir los espacios y al tratarse de un sistema de MNR también son encargados de soportar y transmitir las cargas de la estructura. Estos muros suelen tener un porcentaje de área mayor a los muros de fachada pues solo cuentan con aberturas que corresponden a las puertas de acceso a los espacios internos de la edificación



Figura 30. Muro divisorio en vivienda de Bogotá. Foto del autor.

- Muros de contención o compartidos: Las viviendas que se encuentran construidas en zonas de ladera suelen contar con muros que deben soportar las presiones de suelo generadas por el material contenido del otro lado del muro. En cuanto a los muros compartidos, estos corresponden a los muros que separan

una vivienda de otra continua. Estos tipos de muros no cuentan con ningún tipo de aberturas de manera que su porcentaje de área es mayor que en los otros tipos de muros.



Figura 31. Viviendas ubicadas en zonas de ladera en la ciudad de Bogotá. Tomada de: <https://www.eltiempo.com/bogota/buenavista-el-colorido-barrio-del-cerro-que-atrae-turismo-a-usaquen-259830>.

Para el caso de muros de fachada suelen encontrarse porcentajes de área de muro mayores al 50% debido a que en estos muros se encuentran las puertas de acceso, garajes y ventanas que dan al frente de la vivienda y en los casos de viviendas que se ubican en las esquinas de las cuadras pueden tenerse dos muros de fachada. En los muros internos es poco común que se presenten aberturas que no pertenezcan a las puertas de acceso en el interior, de manera que estos muros cuentan con un porcentaje de área mayor que los pertenecientes a las fachadas.

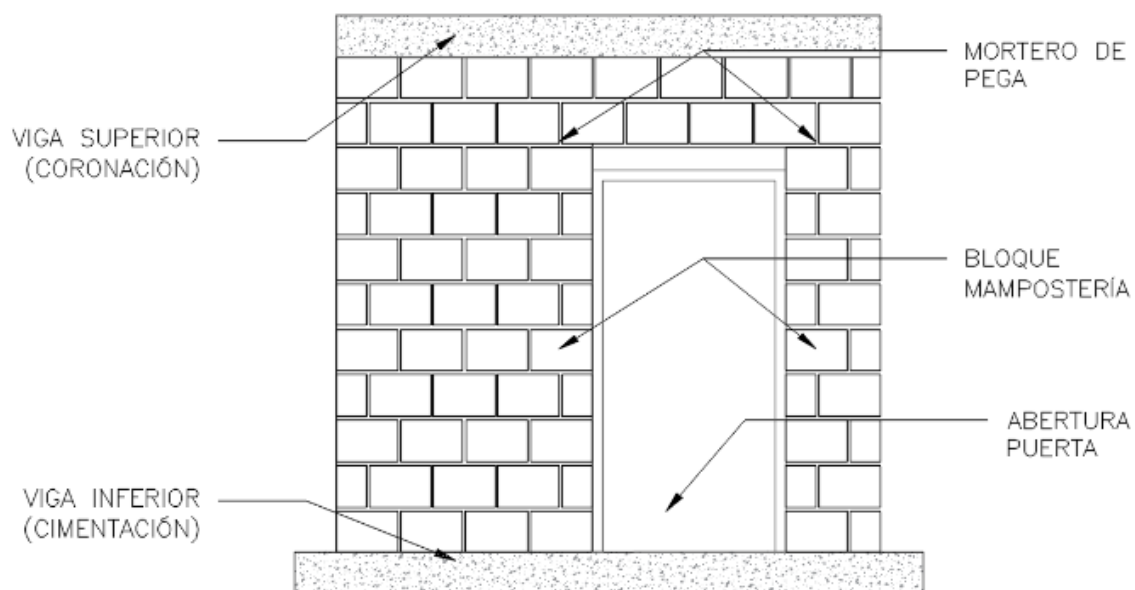


Figura 32. Esquema de muro construido con MNR típico de fachada.



Este tipo de sistemas no están permitidos en el reglamento NSR10 debido a que su comportamiento durante un movimientos de intensidad considerable, como el sismo de diseño, no es el adecuado; se ha encontrado en varios estudios que el sistema estructural no cuenta con la capacidad de disipación de energía ni la resistencia al corte requerida y se pueden presentar fallas locales importantes que lleven a la edificación al colapso, es por esto que se deben establecer sistemas de reforzamiento para garantizar la rigidez, resistencia ,integridad y correcto funcionamiento de los muros al verse sometidos a cualquier tipo de sollicitación.

#### 4.3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Al tratarse de un sistema de bloques unidos mediante mortero de pega que por separado cuentan con su propia resistencia a la compresión, la resistencia del muro va a depender de diferentes factores como la calidad de mano de obra, las propiedades de las unidades de mampostería, el espesor del mortero de pega y la edad de este (Sahlin, 1971). Según Paulay y Priestley (1992), al evaluar la resistencia a la compresión de prismas de mampostería se ha encontrado que esta suele ser menor que la resistencia de los bloques y mayor a la del mortero que lo componen esto debido a que la baja resistencia y módulo de elasticidad son menores en el mortero que en las unidades de mampostería y de esta forma se presentan tensiones laterales y cargas axiales que generan una desintegración del mortero, causando así la falla de la mampostería.

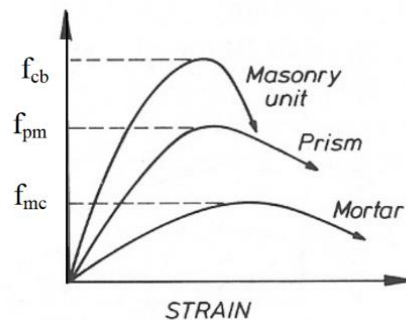


Figura 33. Comparación de curvas de Esfuerzo vs. Deformación unitaria para unidades de mampostería, Prismas y motero de pega (Priestley, 1992).

La resistencia a la compresión de los bloques de arcilla suele variar entre 25% y 50% con respecto a la resistencia a la compresión de un muro de mampostería, donde el valor más bajo corresponde a muros cuyo mortero de pega es de baja resistencia y el mayor a morteros de alta resistencia (Wijanto, 2007). Para poder estimar la resistencia a la compresión de la mampostería se pueden emplear las siguientes expresiones, las cuales van a ser función del material base de las unidades de mampostería.

$$f_m = 0.45f_p \quad (17)$$

$$f_m = 0.60f_p \quad (18)$$

Donde  $f_m$  es la resistencia a la compresión de la mampostería y  $f_p$  es la resistencia a la compresión del bloque. La ecuación (17) corresponde a la resistencia para muros contruidos con unidades de arcilla y la ecuación (18) para unidades de concreto. El valor de la resistencia a la compresión de la mampostería se debe obtener de manera experimental mediante ensayos de compresión en prismas con dimensiones estandarizadas. El ASCE 41-17 establece en la sección 11.2.3.3 que este valor de resistencia a la compresión puede ser determinado siguiendo tres métodos:

1. Ensayos en prismas extraídos de muros existentes y ensayados de acuerdo con la norma *The Masonry Society* (TMS 602 Sección 1.4.B.3).
2. Prismas fabricados con unidades de mampostería extraídas y mortero diseñado con base a análisis químicos de muestras de mortero (TMS 602 Sección 1.4.B.3).
3. Empleando ensayos con gato siguiendo la norma ASTM C1314.

El cálculo de la resistencia a la compresión de la mampostería obtenido con cualquiera de los anteriores métodos debe realizarse sobre el área neta del prisma ensayado.



Figura 34. Ensayo de compresión en murete de mampostería de arcilla. (Shahzada et al., 2012)

La norma NTC 3495, que corresponde a una adopción modificada (MOD) por traducción del documento ASTM C1314 *Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms*, establece los requerimientos para la elaboración y ensayos de muretes de mampostería para obtener la resistencia nominal a la compresión de la mampostería  $f'_m$ , valor empleado para la el diseño de muros de mampostería empleando las ecuaciones presentadas en el título D del reglamento NSR-10 y para la definición de materiales en los programas de modelación estructural.

#### 4.3.2 RESISTENCIA A LA TENSIÓN

En cuanto a la resistencia a tensión, se asume que la mampostería no cuenta con la capacidad de soportar esfuerzos tensionales debido a que se ha encontrado que los mecanismos de falla se dan cuando la mampostería se encuentra sometida a esfuerzos de tracción ya que el único factor que puede aportar resistencia es un comportamiento friccional definido por el coeficiente  $\mu$  (Coulomb, 1776) y posiblemente una cohesión definida por el factor  $c$  (Heyman, 1972). La absorción de agua en la mampostería es un factor que no debe dejarse pasar por alto, debido a que esta afecta la durabilidad y puede generar inconvenientes durante la construcción de los muros ya que, al absorber el agua del mortero, se suele perder manejabilidad y la adherencia entre mortero y bloques puede verse comprometida.

#### 4.3.3 RESISTENCIA AL CORTE

Al tratarse de un sistema estructural que debe encargarse de soportar las fuerzas tanto gravitacionales como horizontales, los muros de mampostería son los responsables de que la transmisión de cargas se dé entre la edificación y la cimentación. En el caso de las fuerzas horizontales los muros van a estar sometidos a fuerzas de corte, lo que justifica el estudio de su comportamiento bajo esfuerzos cortante. Existen tres factores que pueden ser de mayor influencia en la resistencia al corte de MNR:

- La Resistencia de los materiales: Debido a que los componentes de la mampostería tienen una amplia variedad de características mecánicas según la calidad de la fabricación. La resistencia de estos componentes de la mampostería va a influir en la resistencia del muro debido a que entre mayor sea la resistencia al corte y a la compresión de los bloques o el mortero de pega y la calidad de fabricación con la que cuenten los bloques de mampostería mayor resultará la resistencia al corte del muro.
- Las dimensiones del muro: El tamaño que tengan los muros de mampostería en una vivienda va a depender de la configuración en planta y en altura que esta tenga, debido a que pueden encontrarse muros de grandes dimensiones como los muros compartidos con otras edificaciones o muros pequeños de fachada. Se ha encontrado en resultados experimentales que la relación entre la altura y el ancho del muro  $\lambda_h = H/B$  donde H es la altura y B es el ancho del muro puede generar variaciones en la resistencia al corte de la mampostería (Guiqiu & Chuxian, 1997). Entre mayor sea esta relación mayor será el momento por flexión generado por fuerzas laterales y menor será la resistencia al corte del muro ya que estas fuerzas aumentarán proporcionalmente al valor de  $\lambda_h$  y el área transversal del muro se mantendrá igual
- Esfuerzos de compresión: Al tratarse de sistemas estructurales que en Colombia usualmente suelen tener ampliaciones verticales (aumento en número de pisos) los muros suelen soportar una carga axial importante que de transmitirse de manera adecuada va a generar esfuerzos de compresión importantes en los

muros de las viviendas. Cuando la relación entre el esfuerzo de compresión debido a cargas axiales que actúan sobre el muro ( $\sigma_y$ ) y la resistencia promedio a la compresión de la mampostería ( $f'm$ ) es menor que 0.5, la fricción generada en el mortero de pega debida al esfuerzo de compresión puede reducir e incluso prevenir la falla por deslizamiento por fisuración en el mortero de pega. Por otra parte, el momento flector generado por fuerzas actuantes en el plano principal del muro puede reducirse, de forma que entre mayor sea la carga axial que genera esfuerzos de compresión en el muro, puede resultar un beneficio para los muros de mampostería, siempre y cuando se conserve la relación de  $\sigma_y/f'm < 0.5$ . Si la relación de  $\sigma_y/f'm$  es mayor a 0.5 las fisuras longitudinales en el muro pueden generar una pérdida de rigidez (Guiqiu & Chuxian, 1997). De acuerdo con estudios realizados por (Xingzhi, 1991) al ensayar 21 muros de mampostería se encontró que el esfuerzo promedio a corte de un muro que soporta carga axial puede calcularse como:

$$f_{v,m} = f'm \left[ 0.02 + 0.88 \left( \frac{\sigma_y}{f'm} \right) - 0.9 \left( \frac{\sigma_y}{f'm} \right)^2 \right] * \psi \quad (19)$$

Donde:

- $f_{v,m}$ : Esfuerzo promedio a corte de la MNR
- $f'm$ : Esfuerzo promedio a compresión de la mampostería
- $\sigma_y$ : Esfuerzo a compresión debido a carga axial en el muro
- $\Psi$ : Relación entre altura y ancho del muro

El valor promedio de la fuerza cortante que el muro de mampostería puede soportar puede obtenerse a partir de la ecuación anterior:

$$V_{v,m} = f'm \left[ 0.02 + 0.88 \left( \frac{\sigma_y}{f'm} \right) - 0.9 \left( \frac{\sigma_y}{f'm} \right)^2 \right] * \psi * A \quad (20)$$

Donde A es el área de la sección transversal del muro de mampostería.

En la figura se presenta un gráfico que compara la relación entre esfuerzos de corte vs la relación  $\sigma_y/f'm$ , donde se observa que para valores de  $\sigma_y/f'm$  cercanos a 0.5 se obtiene una mayor capacidad de resistencia al corte en los muros. Si esta relación es cercana a cero, es decir con poca presencia de esfuerzos de compresión axial, la capacidad de resistencia al corte será menor, al igual que al emplear relaciones cercanas a 1.0.

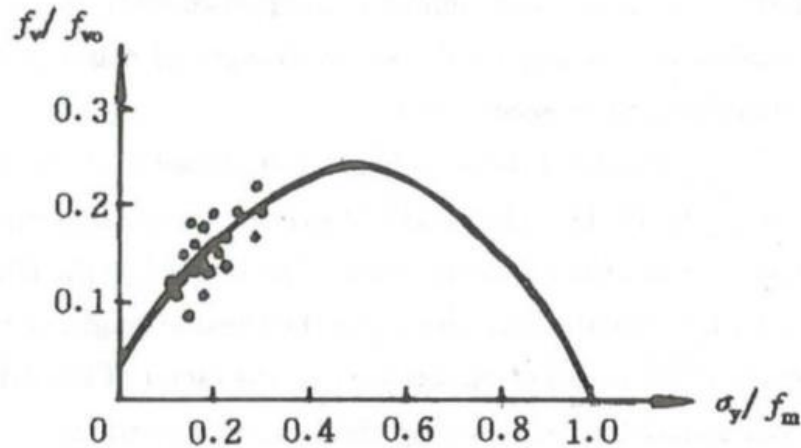


Figura 35. Relación entre esfuerzos de corte vs. Relación esfuerzo de compresión y resistencia de mampostería. Tomado de (Guiqiu & Chuxian, 1997).

En el ASCE 41-17 se establece que los muros de MNR serán ensayados para poder determinar la resistencia esperada al corte. En la sección 11.2.3.6.1 la resistencia al corte - del mortero de pega se debe evaluar empleando la ecuación:

$$v_{jo} = \frac{V_{test}}{A_b} * P_{D-L} \quad (21)$$

Donde:

- $V_{test}$ : Carga de ensayo al primer movimiento de la unidad de mampostería
- $A_b$ : Suma del área neta de mortero en la pega localizada directamente bajo la unidad de ensayo
- $P_{D-L}$ : Carga gravitacional de compresión considerando cargas muertas y vivas al momento del ensayo.

Para determinar la resistencia al deslizamiento del mortero se emplea la ecuación

$$v_{me} = \frac{0.75 \left( 0.75 v_{te} + \frac{P_D}{A_n} \right)}{1.5} \quad (22)$$

Donde:

- $A_n$ : Área neta del mortero y/o pañete del muro
- $P_D$ : Carga muerta super - impuesta en la parte superior del muro
- $v_{te}$ : Promedio de la resistencia del mortero al corte

#### 4.3.4 MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad representa la comportamiento constante que presenta un material al relacionar los esfuerzos y deformaciones unitarias en el rango elástico lineal.

Para el cálculo de este módulo el UBC (Uniform Building Code) recomienda que sea calculado empleando la ecuación (Bakhteri, Makhtar, & Sambasivam, 2007).

$$E_M = \frac{(1 + \gamma_t)}{\left(1 + \frac{\gamma_t}{\gamma_m}\right)} E_b \quad (23)$$

Donde:

- $\gamma_t$ : Relación de espesor ( $t_j/t_b$ )
- $\gamma_m$ : Relación de módulos ( $E_j/E_b$ )
- $t_j$ : Espesor de mortero de pega
- $t_b$ : Espesor del bloque
- $E_j$ : Módulo elástico del mortero de pega, asumido como 20000 N/mm<sup>2</sup>
- $E_b$ : Módulo elástico de los bloques, asumido como 37000 N/mm<sup>2</sup>

El reglamento NSR-10 establece en la sección 5.2.1.2 del título D que este valor debe establecerse mediante ensayos de laboratorio de muretes. Según registros históricos de ensayos realizados en proyectos de construcción se ha encontrado que el módulo de elasticidad y en el caso de que no se cuenten con valores experimentales se puede calcular como:

$$E_M = 900 f'_m \leq 20000 \text{ MPa (Concreto)} \quad (24)$$

$$E_M = 750 f'_m \leq 20000 \text{ MPa (Arcilla)} \quad (25)$$

#### 4.3.5 RELACIÓN DE POISSON

La relación de Poisson puede establecerse mediante la relación entre módulo de corte y módulo de elasticidad buscando que esta sea de 0.4 (valor sugerido por el NSR-10) para materiales isotrópicos elásticos. Al emplear esta relación en la siguiente ecuación se obtiene un valor de  $\mu=0.25$  que correspondería a la relación de Poisson para mampostería.

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (26)$$

En investigaciones de análisis mediante elementos finitos de sistemas de mampostería de arcilla se estableció un valor de 0.25 para la relación de Poisson, obteniendo resultados concordantes con ensayos experimentales (Bakhteri et al., 2007).

Al comprender las características y propiedades mecánicas con las que cuentan los diferentes componentes de la MNR y cómo se desempeñan se puede tener una idea de cómo puede ser el comportamiento de los muros al verse sometidos a diferentes solicitaciones y así alimentar modelos estructurales para predecir comportamiento y mecanismos de falla.

#### 4.4 COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA FRENTE A CARGAS ESTÁTICAS Y DINÁMICAS

Los sistemas de mampostería han demostrado a lo largo de la historia que son una opción estructural que puede mantener su integridad durante cientos de años si su elaboración y mantenimiento son adecuados. Al tratarse de un sistema compuesto por bloques que individualmente son capaces de resistir esfuerzos de compresión y se encuentran unidos mediante un material que también cuenta con esta característica, se presenta un sistema que puede soportar cargas estáticas de compresión altas sin perder la estabilidad ni la integridad como elemento estructural. El comportamiento de un muro frente a cargas estáticas se resume en la capacidad que tiene éste de soportar su peso propio y las cargas gravitacionales generadas por un sistema de cubierta o los pisos superiores en el caso de tratarse de una edificación de varios niveles.



Figura 36. Baños de Caracalla en Roma contruidos con mampostería. Tomado de: <https://brickarchitecture.com/about-brick/why-brick/the-history-of-bricks-brickmaking>

Debido a las diferentes solicitaciones a las que un muro de mampostería puede verse sometido debido a cargas gravitacionales y/o laterales, estáticas o dinámicas, y teniendo en cuenta que se trata de un material ortotrópico compuesto de diferentes elementos, se han realizado diferentes investigaciones en las cuales se busca establecer cuáles son los mecanismos de falla más comunes.

Las cargas laterales están usualmente asociadas a la acción del viento o de un sismo, generando dos componentes de fuerza: en el plano principal del muro (dirección fuerte) y perpendiculares al plano principal del muro (dirección débil). El comportamiento de la edificación va a depender de la distribución de los muros y cómo interactúan unos con otros al verse sometidos a cargas laterales ya que según su rigidez dentro o fuera del plano se presentarán diferentes modos de vibración durante un movimiento sísmico.

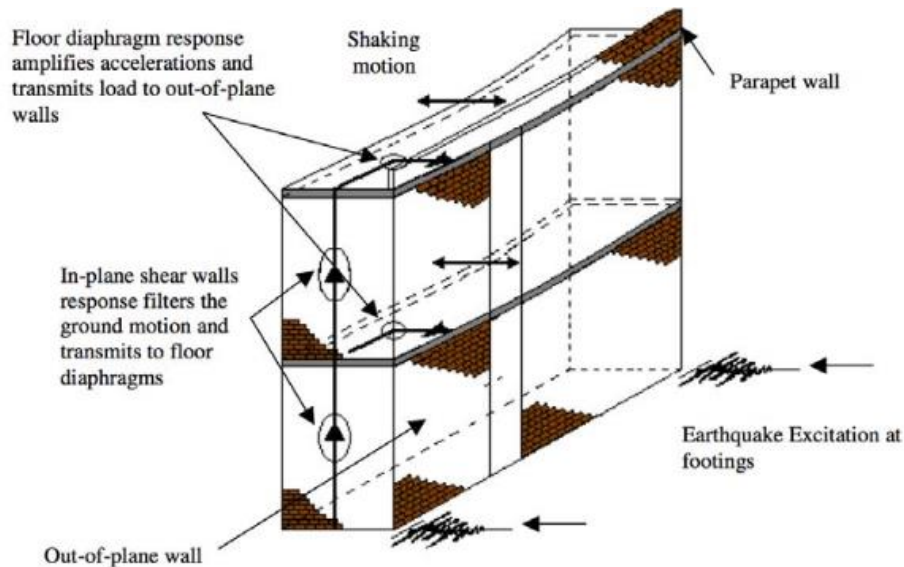


Figura 37. Transferencia de cargas en muros de MNR. (Doherty, 2000)

#### 4.4.1 TIPOS DE SOLICITACIONES EN MUROS DE MNR

Los modos de falla que pueden encontrarse en muros de MNR pueden estudiarse teniendo en cuenta el tipo de sollicitación y la dirección de las fuerzas que actúan sobre estos ya que el comportamiento del muro va a ser diferente según como actúen las fuerzas que pueden ser generadas por cargas gravitacionales o laterales.

##### 4.4.1.1 COMPRESIÓN AXIAL

Los modos de falla de la MNR sometida a cargas axiales van a depender de la interacción que se presenta entre los componentes del muro ya que al verse sometidos a un esfuerzo que debe ser redistribuido entre el mortero y las unidades de mampostería el material que cuenta con una menor capacidad de deformación va a restringir al material más deformable generando así esfuerzos internos de compresión en dirección transversal (Baqueiro, Gómez, Rivera, & Marín, 2009).

Las fallas por carga axial en muros de mampostería de edificaciones no son muy comunes a menos que se den debido a la acción simultánea con cargas laterales o por deficiencias constructivas como lo es la falta de verticalidad del muro ya que este fenómeno puede generar efectos de segundo orden como el P-Delta en el cual el muro se ve sometido a flexión fuera del plano producida por la carga que soporta y una excentricidad. Este tipo de fallas por carga gravitacional suelen presentarse de manera súbita y frágil, y debido a que el sistema de resistencia de la edificación depende de los muros, puede presentarse el colapso de la estructura completa.



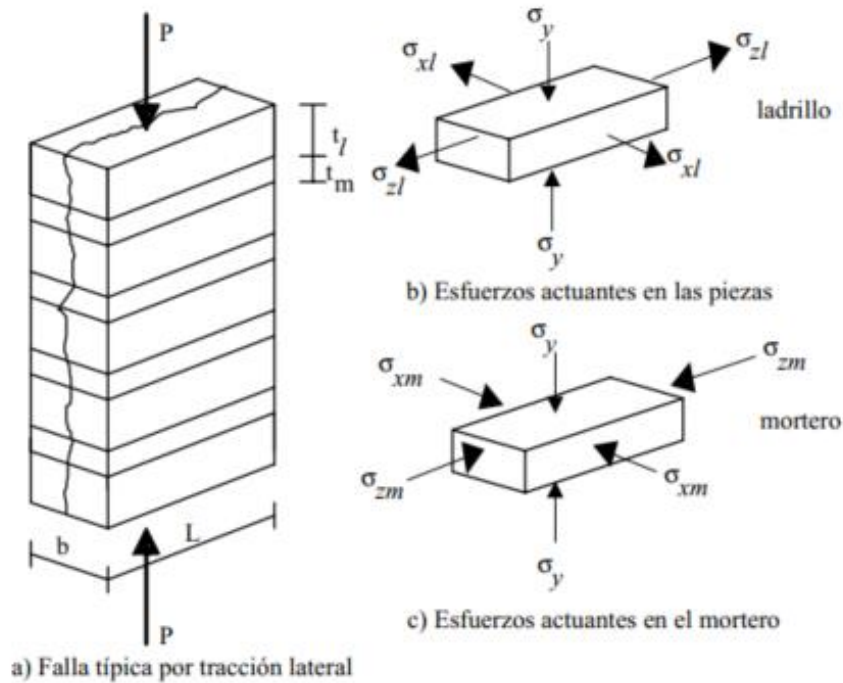


Figura 38. Mecanismo de falla de mampostería por compresión (Tena, 2001).

Ya que el mortero es un material que puede soportar altas cargas de compresión el modo de falla más recurrente se presenta en las unidades de mampostería, debido a que estas no cuentan con un área para la distribución de la fuerza lo suficientemente grande y especialmente en el caso de los bloques de mampostería de perforación horizontal solo cuenta con el espesor de los tabiques para transmitir las cargas. En ensayos de compresión de muretes de mampostería se encontró que la relación esfuerzo vs. deformación unitaria es lineal hasta el momento de la falla a excepción de muretes que contaban con unidades que el tabique recocado. En cuanto al mortero de pega se ha evidenciado que este no presenta una causa de falla para el muro debido a que al alcanzar su máximo esfuerzo de compresión las fuerzas friccionales presentes entre los bloques evitan la pérdida de integridad (ICA, 2003).

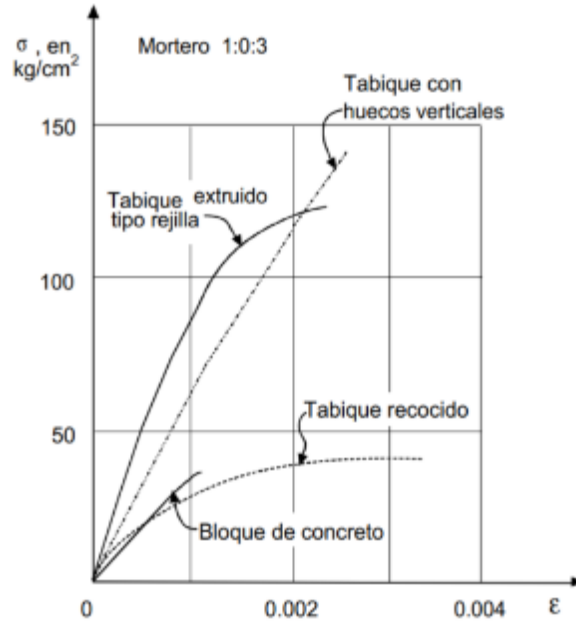


Figura 39. Curvas de Esfuerzo vs. Deformación Unitaria de ensayos de compresión en muretes (Meli et al., 1999).

El reglamento NSR-10 establece que la máxima resistencia a la compresión por carga axial teórica puede calcularse empleando la expresión:

$$P_o = 0.80f'm * (A_e - A_{st}) + A_{st}f_y \leq f'mA_e \quad (27)$$

Para el caso de muros de MNR, la ecuación anterior puede simplificarse debido a que no se cuenta con área de acero de refuerzo  $A_{st}$ :

$$P_o = 0.80f'm * A_e \quad (28)$$

Donde:

- $f'm$ : Resistencia a la compresión de la mampostería
- $A_e$ : Área efectiva de la sección de mampostería

La resistencia a la compresión debe ser ajustada empleando un factor de reducción por esbeltez, el cual depende de la relación altura/espesor que tenga el muro. Este factor de reducción se establece en el reglamento como:

$$R_e = 1 - \left[ \frac{h'}{42t} \right]^2 \quad \text{Para } \frac{h'}{t} \leq 30 \quad (29)$$

$$R_e = \left[ \frac{21t}{h'} \right]^2 \quad \text{Para } \frac{h'}{t} > 30 \quad (30)$$

Donde:

- $R_e$ : Coeficiente de reducción por esbeltez
- $h'$ : Altura efectiva para evaluar efectos de pandeo

- $t$ : Espesor efectivo de la sección para evaluar efectos de pandeo

De esta manera se puede calcular la resistencia nominal de compresión por carga axial, sin excentricidad y teniendo en cuenta los efectos de esbeltez, la cual no puede superar el valor dado por la expresión:

$$P_n = 0.80P_o * R_e \quad (31)$$

Para el diseño empleando el método de resistencia última, la máxima resistencia de diseño para carga axial en un muro  $P_u$  puede calcularse empleando el factor  $\phi$ :

$$P_u \leq \phi P_n = \phi * 0.80P_o * R_e \quad (32)$$

Donde el valor de  $\phi$  corresponde a 0.8 cuando se trata de efectos gravitacionales y fuerzas horizontales perpendiculares al plano del muro y 0.6 para fuerzas paralelas al plano del muro (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

#### 4.4.1.2 CARGA LATERAL EN EL PLANO

Las cargas laterales que actúan en el mismo plano del muro pueden presentar diferentes tipos de falla que pueden ocasionar la pérdida de capacidad de soportar cargas laterales e incluso gravitaciones y ocasionar el colapso de la edificación. El comportamiento del muro frente a cargas laterales en el plano va a depender de su geometría, las propiedades de los componentes del muro y de la carga axial que esté soportando. Ghiassi (2012) establece que se han encontrado cuatro mecanismos de falla que se han observado en los muros de MNR durante movimientos sísmicos y en ensayos de laboratorio:

##### 4.4.1.2.1 DESLIZAMIENTO POR FISURACIÓN EN MORTERO DE PEGA (SLIDING FAILURE)

Al tratarse de una parte de la mampostería que no tiene resistencia a la tensión, el mortero suele ser el componente que primero muestra la falla al fisurarse y generar una discontinuidad entre los demás elementos del muro. Este tipo de falla es controlado por deformación (FEMA, 2000) y se presenta como un patrón de fisuración longitudinal a lo largo del mortero de pega. La resistencia al deslizamiento por fisuración puede calcularse según el ASCE 41-17 como:

$$Q_{CE} = V_{bjs} = v_{me} * An \quad (33)$$

Donde:

- $V_{bjs}$  es la capacidad inicial esperada por deslizamiento de la mampostería
- $An$  es el área neta de mortero
- $v_{me}$  corresponde a la resistencia esperada al cortante de la mampostería

La capacidad final esperada del muro puede determinarse como

$$Q_{CE,F} = V_{bjs2} = 0.5P_D \quad (34)$$

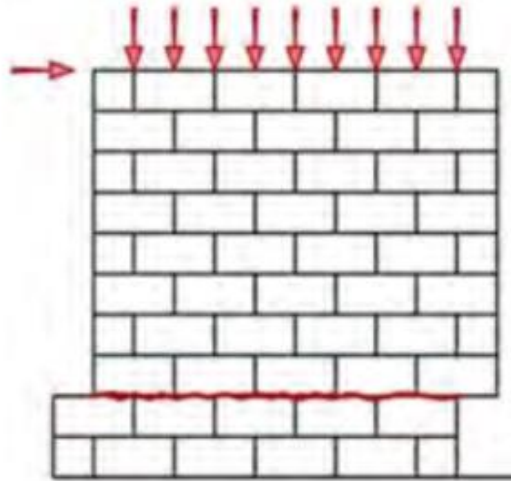


Figura 40. Esquema de falla por deslizamiento por fisuración en mortero de pega (Oyguc & Oyguc, 2017).

Este tipo de fallas suele ser muy común cuando en la construcción del muro se emplea una proporción de cemento baja para el mortero de pega lo cual genera una baja resistencia en este y que el muro tienda a fallar.

#### 4.4.1.2.2 APLASTAMIENTO POR COMPRESIÓN (TOE CRUSHING FAILURE)

En los casos en los que los muros se ven sometidos a cargas laterales y no cuentan con un sistema de anclaje a la base o una carga axial importante se suele generar una articulación en la base, de forma que el muro pierde la adherencia en la zona inferior y trata de girar. Esto genera que los bloques de los extremos inferiores sean el punto principal de apoyo del muro al moverse en su propio plano y debido a la transmisión de cargas estos fallen por aplastamiento. La resistencia al aplastamiento por compresión puede calcularse empleando la ecuación:

$$V_{tc} = \alpha * (\alpha P_D + 0.5P_W) * \frac{L}{h_{eff}} * \left(1 - \frac{f_a}{0.7 * f'm}\right) \quad (35)$$

Donde:

- $V_{tc}$  es la capacidad de aplastamiento
- $\alpha$  es un factor que depende si el muro es en voladizo (0.5) o empotrado (1.0)
- $P_D$  es la carga axial por efectos gravitacionales
- $P_W$  es el peso propio del muro
- $f_a$  el esfuerzo de compresión por carga axial
- $f'm$  la Resistencia a la compresión de la mampostería

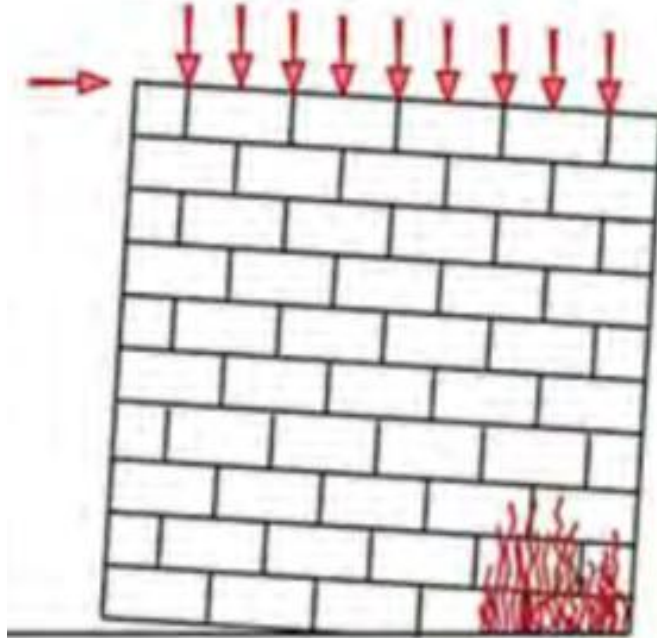


Figura 41. Esquema de falla por aplastamiento(Oyguc & Oyguc, 2017).

#### 4.4.1.2.3 DESPRENDIMIENTO DE LA BASE (ROCKING FAILURE)

Este tipo de falla suele presentarse en conjunto con la falla de aplastamiento por compresión ya que al girar el muro se desprende en uno de los costados y se pierde continuidad entre el muro y la cimentación. Cuando se da la falla por desprendimiento suele ocurrir debido a una alta resistencia al corte del muro y una baja carga de compresión axial (FEMA 356). Se presenta acompañada de una gran capacidad de deformación limitada por la falla de aplastamiento por compresión o inestabilidad del muro. En el capítulo 11 del ASCE 41-17 se establece la siguiente ecuación para determinar la resistencia al desprendimiento en la base de la mampostería como:

$$Q_{CE} = V_r = 0.9 * (\alpha P_D + 0.5 P_W) * \frac{L}{h_{eff}} \quad (36)$$

Donde:

- $V_r$  es la capacidad esperada de desprendimiento
- $\alpha$  es un factor que depende si el muro es en voladizo (0.5) o empotrado (1.0)
- $P_D$  es la carga axial por efectos gravitacionales
- $P_W$  es el peso propio del muro
- $h_{eff}$  es la altura a la que actúa la fuerza resultante

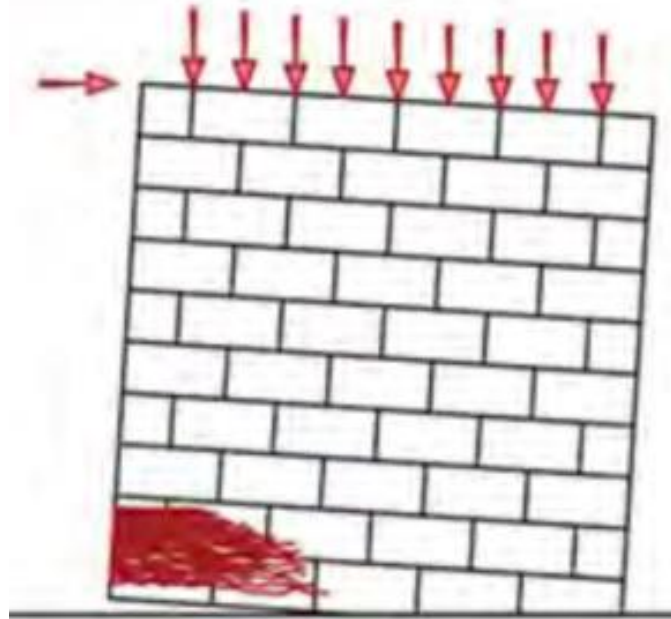
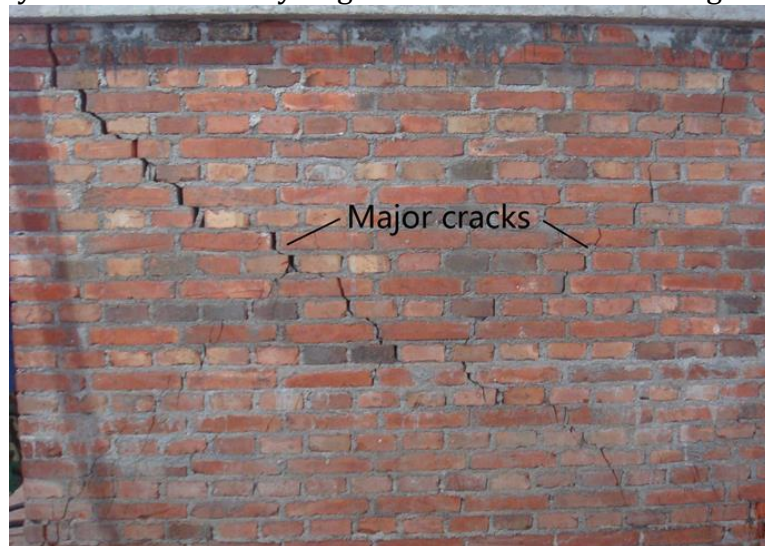


Figura 42. Esquema de falla por desprendimiento en la base (Oyguc & Oyguc, 2017).

#### 4.4.1.2.4 AGRIETAMIENTO DIAGONAL (SHEAR FAILURE)

Este tipo de falla suele presentarse cuando se cuenta con un mortero de alta resistencia a la compresión y unidades débiles y se genera como una fisura diagonal a



lo largo de todo el muro.

Figura 43. Falla por agrietamiento diagonal en muro de mampostería. (Zhou, Zhou, & Lei, 2016)

En este comportamiento de los muros suelen presentarse pequeñas deformaciones no lineales y el agrietamiento del muro se da de forma súbita y la resistencia del muro disminuye. La siguiente ecuación puede emplearse para determinar la capacidad a la tensión diagonal del muro:

$$V_{dt} = A_n * f_{dt} * \frac{L}{h_{eff}} * \sqrt{\frac{f_a}{f_{dt}} + 1} \quad (37)$$

Donde:

- $V_{dt}$  es la capacidad de tensión diagonal del muro
- $f_{dt}$  es la resistencia a tensión diagonal del muro

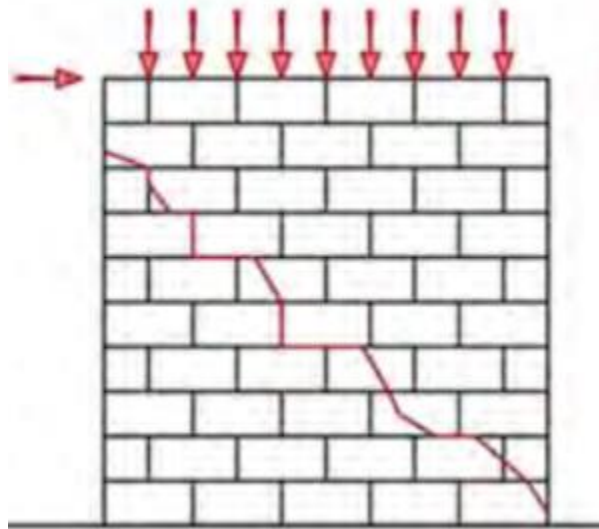


Figura 44. Esquema de falla por agrietamiento diagonal (Oyguc & Oyguc, 2017).

Para el diseño de muros cuando las cargas actúan en la dirección paralela a su plano el reglamento NSR-10 establece los siguientes requerimientos:

- **Resistencia a la flexo-compresión:** El momento de diseño que actúa simultáneamente con la carga axial debe cumplir con la condición de diseño

$$M_u \leq \phi M_n \quad (38)$$

$M_n$  debe obtenerse a partir de la interacción entre momento y carga axial.

- **Resistencia a cortante:** Debe cumplirse la condición de diseño

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi V_n \\ V_n &= V_m + V_s \end{aligned} \quad (39)$$

Para este caso el reglamento aclara en la sección D.5.8.4.1 que si el valor de  $V_n$  excede el cortante que es producido por la resistencia nominal a flexión del muro puede darse una articulación plástica en la base del muro y el acero de refuerzo debe ser el encargado de soportar la fuerza cortante en el muro.

Para el cálculo de  $V_m$  el reglamento establece que será función de la relación  $\frac{M_u}{V_u * d}$ , trabajando con la tabla D.5.8-3 del título D, de la cual  $M_u$  corresponde a al momento que ocurre simultáneamente con  $V_u$  en la sección bajo consideración

y el valor de  $d$  puede asumirse como  $0.8lw$  cuando no se realice un análisis de compatibilidad de deformaciones.

$\frac{M_u}{V_u d}$	$V_m$
$\frac{M_u}{V_u d} \leq 0.25$	$V_m = 0.30 A_{mv} \sqrt{f'_m} + 0.25 P_u$
$0.25 < \frac{M_u}{V_u d} < 1.00$	$V_m = \left[ 0.33 - 0.13 \left( \frac{M_u}{V_u d} \right) \right] A_{mv} \sqrt{f'_m} + 0.25 P_u$
$\frac{M_u}{V_u d} \geq 1.00$	$V_m = 0.20 A_{mv} \sqrt{f'_m} + 0.25 P_u$

Tabla 10. Valor del cortante nominal resistido por la mampostería en función de  $\frac{M_u}{V_u d}$ .  
Título D, (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

#### 4.4.1.3 CARGA LATERAL FUERA DEL PLANO

Cuando un muro es sometido a las cargas horizontales producidas por un movimiento sísmico o el viento y éstas actúan en dirección perpendicular al plano principal del muro se presentan esfuerzos debidos a la flexión fuera del plano. En estudios realizados después de terremotos [(Ingham & Griffith, 2011; Oyarzo-Vera & Griffith, 2009)] se ha encontrado que la falla de muros por acción de cargas fuera del plano se presenta con frecuencia y suelen ser un modo predominante de colapso en estructuras de MNR; esto debido a que este tipo de falla suele ser local de manera que se genera un alto riesgo para la ocupación de la edificación ya que los otros muros se verán sobre cargados y no podrán comportarse de la manera esperada durante el movimiento sísmico, comprometiendo la capacidad de resistir cargas tanto horizontales como verticales (Vaculik, 2012).

El tipo de falla en este caso va a depender de cómo se encuentra soportado el muro al resto de la edificación, ya que la flexión puede distribuir los esfuerzos de forma diferente para cada caso y presentar una orientación de los esfuerzos diferentes según la ubicación de los ejes de apoyo que tenga el muro como se muestra en la siguiente ilustración.



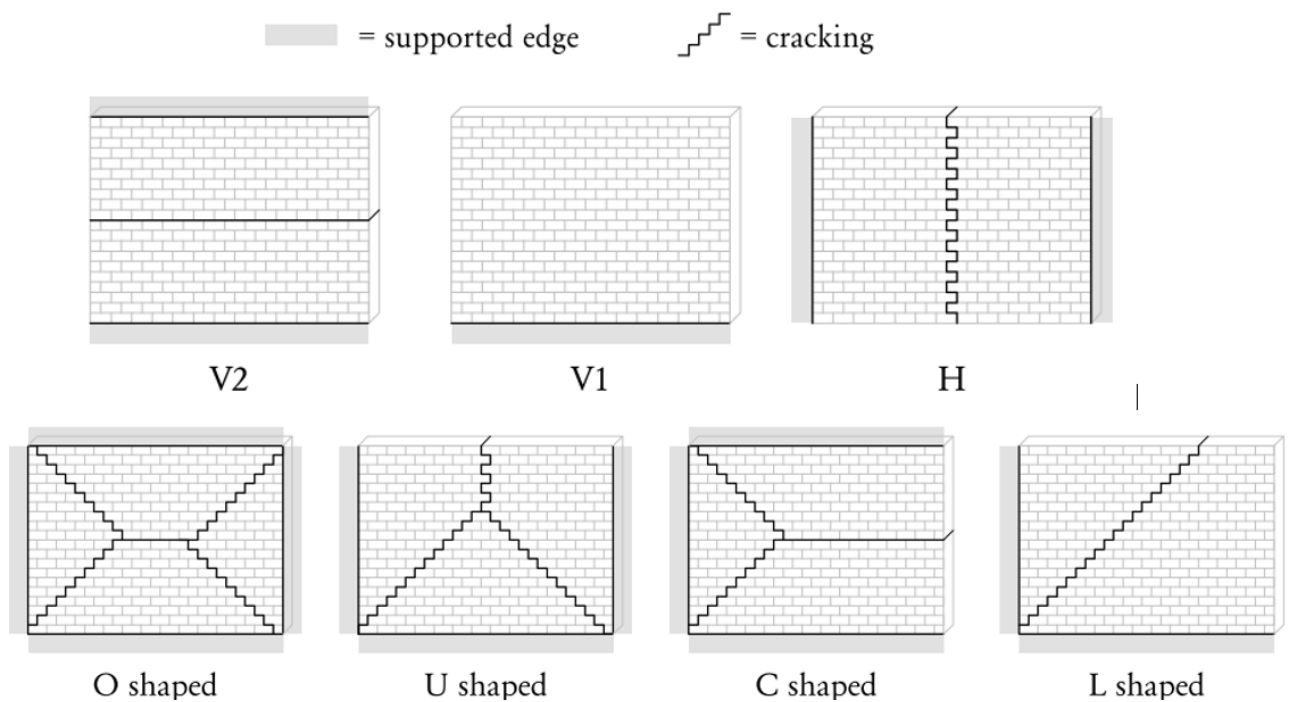


Figura 45. Tipos de soporte de muros y patrones de fisuración asociados a fallas fuera del plano (Vaculik, 2012)

Los muros que cuentan con apoyos en solo una de las direcciones principales del muro van a presentar flexión uniaxial fuera del plano, la cual puede clasificarse como horizontal o vertical dependiendo de la orientación de la luz entre apoyos y las fisuras que se presentan en el muro serán paralelas al eje de apoyo. En el caso de los muros que cuentan con ejes de apoyo en las dos direcciones la fisuración suele ser más compleja debido al comportamiento ortotrópico de la mampostería y a que se trata de una configuración indeterminada (R. Drysdale, A. Hamid, 1994).

Cuando la flexión fuera del plano actúa de forma vertical, es decir que el par de fuerzas generado internamente en el muro actúan en el sentido vertical del muro los esfuerzos van a generar tensiones y compresiones internas los cuales deben ser soportados principalmente por el mortero de pega. Si la flexión se presenta de forma horizontal las unidades de mampostería serán las que soporten estos esfuerzos. Dependiendo del sistema de apoyos que tenga el muro esta distribución de esfuerzos puede ser variable, ya que si cuenta con un sistema de confinamiento los esfuerzos serán soportados por el mortero y las unidades al mismo tiempo pues el momento flector aplicado puede actuar en las dos direcciones principales del muro generando una resultante diagonal.

Para determinar la resistencia de muros de MNR sometidos a cargas fuera del plano se establece en la sección 11.3.3.2 del ASCE 41-17 que esta debe obtenerse mediante ensayos de flexión fuera del plano de acuerdo con las normas ASTM C1072 y ASTM E518. La resistencia a flexión de los muros por fuerzas en el plano puede asumirse igual

a la resistencia a flexión de los muros por fuerzas fuera del plano a menos que se obtenga mediante ensayos de laboratorio.

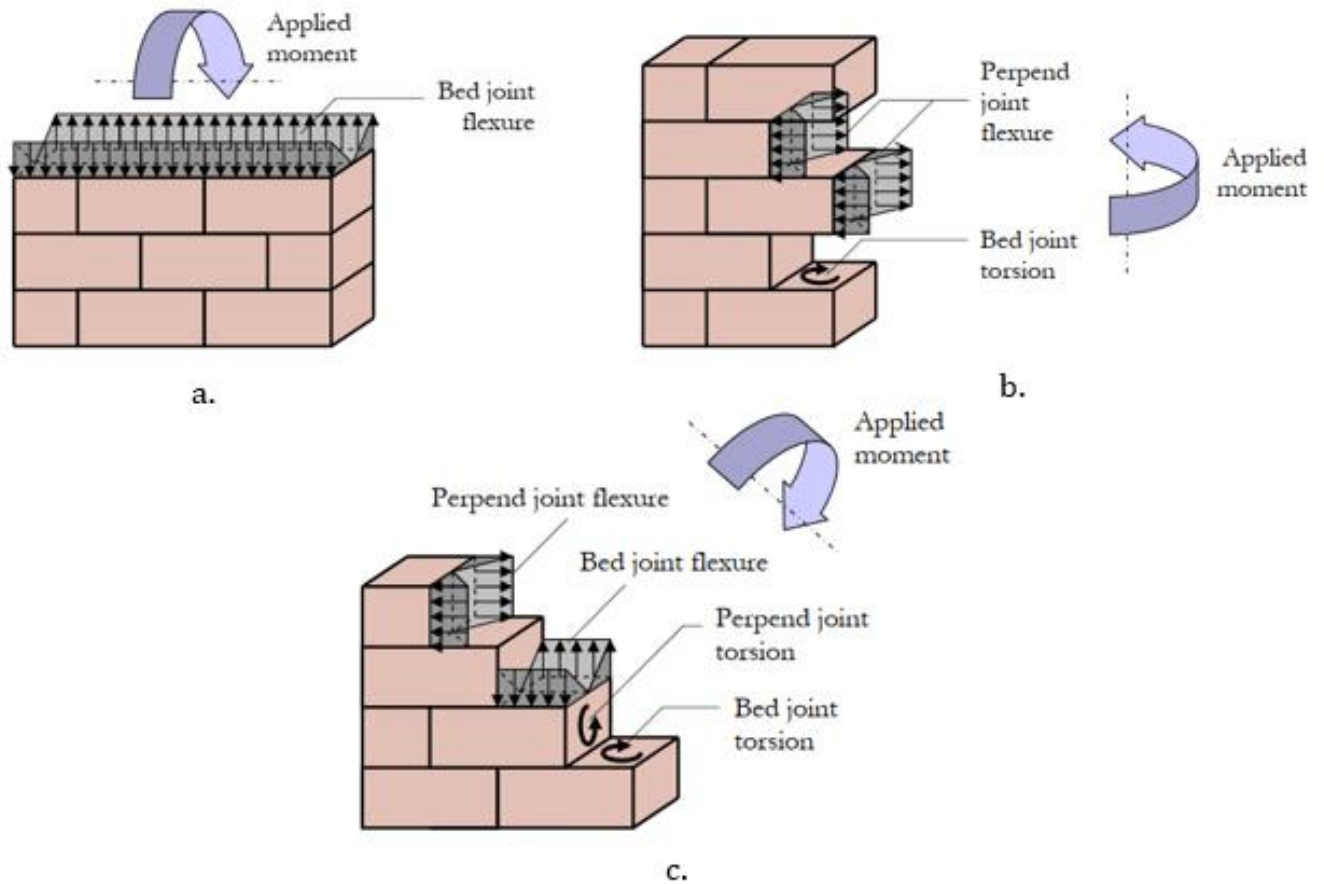


Figura 46. Momentos internos desarrollados en muros de mampostería para diferentes tipos de flexión (Vaculik, 2012)

Para el diseño de muros con cargas que actúan en la dirección perpendicular a su plano, el reglamento NSR-10 define en el capítulo D.5.7.2 la resistencia a flexión dependiendo de la carga axial a la que están sometidos. El primer caso corresponde a muros con carga axial menor a  $0.10 * f'_m * Ae$  donde se debe cumplir la condición de diseño:

$$M_u \leq \phi R_e M_n \quad (40)$$

Donde  $R_e$  es el factor de reducción por esbeltez definido en la sección de resistencia a la compresión y  $M_n$  se obtiene como:

$$M_n = A_{se} f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (41)$$

Esta expresión solo puede emplearse cuando el muro cuenta con acero de refuerzo, pues se asume que el muro de mampostería no cuenta con resistencia a esfuerzos de tensión que puedan desarrollarse por la flexión en el muro.

En cuanto a la resistencia a cortante en la dirección perpendicular al plano del muro, el reglamento establece que se debe cumplir la condición de diseño

$$V_u \leq \phi V_n \quad (42)$$

$$V_n = \frac{1}{6} A_{mv} \sqrt{f' m} \quad (43)$$

Donde  $A_{mv}$  es el área efectiva para cortante en la dirección perpendicular al plano del muro.

#### 4.4.1.4 CORTANTE POR TORSIÓN

Cuando el sistema de muros de una edificación es el encargado de soportar las fuerzas laterales generadas por sismo y el centro de rigidez del piso no coincide con su centro de masa, debido a que no se presenta simetría en planta la edificación o la distribución de muros es irregular, el sistema estructural va a verse sometido a momentos torsionales que van a generar fuerzas cortantes adicionales en los muros.

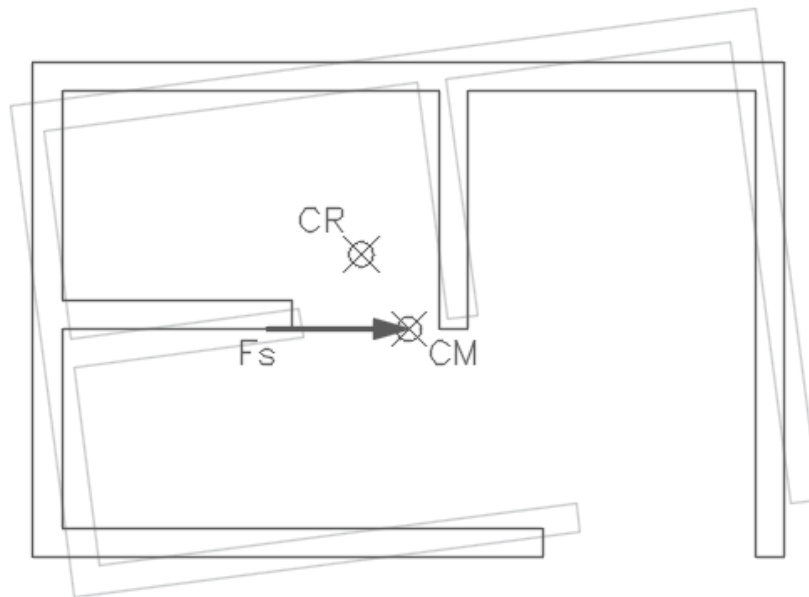


Figura 47. Efectos de torsión producidos por la no coincidencia del centro de masa CM y centro de rigidez CR.

Al aplicarse una fuerza lateral  $F_s$  a un sistema estructural de muros de esta se transmitirá a cada uno de los elementos que hacen parte del sistema de resistencia de cargas laterales generando un cortante directo en cada uno de ellos ( $F_1, F_2, F_3$ ), este cortante directo puede calcularse como

$$V d_x = K_{rel} * F_s \quad (44)$$

Donde  $K_{rel}$  es la rigidez relativa del muro en la dirección de la aplicación de la fuerza y  $F_s$  es la fuerza sísmica total que actúa en el nivel de estudio

$$K_{rel} = \frac{K_{ix}}{\sum K_{ix}} \quad (45)$$

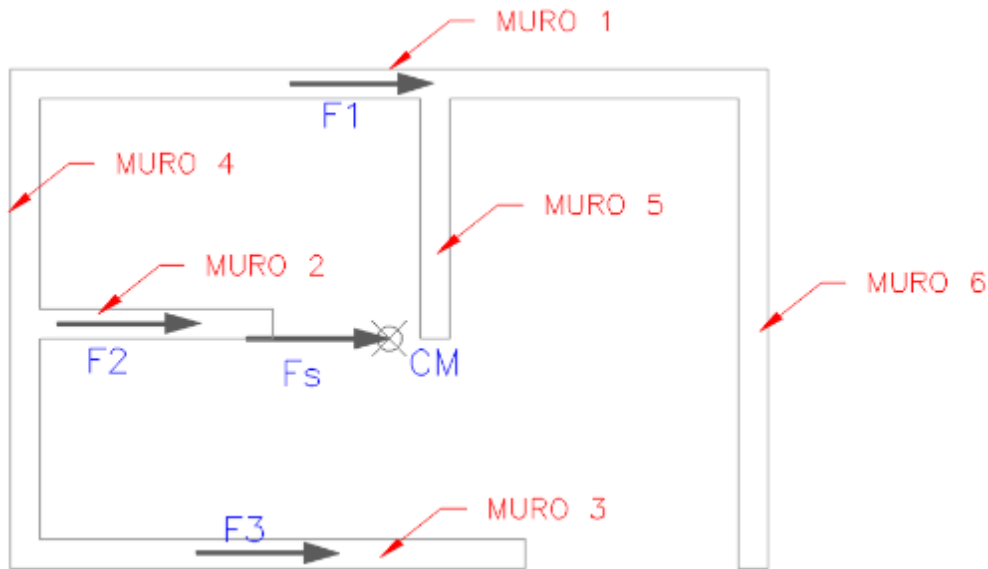


Figura 48. Distribución de fuerzas cortantes en sistema de muros de mampostería.

Al existir una excentricidad entre el centro de masa y centro de rigidez del entrepiso va a producirse un desplazamiento horizontal y una rotación cuyo eje será el centro de rigidez de manera que el momento torsionante producido por la fuerza sísmica y la excentricidad generarán fuerzas cortante adicionales a cada uno de los muros. Este cortante generado por la torsión puede calcularse como:

$$V_{TX} = \frac{K_x * Y}{\sum K_x * Y^2 + \sum K_y * X^2} * F_{sis} * e \quad (46)$$

Donde  $V_{tx}$  es el cortante actuante en el muro en dirección X por torsión,  $K_x$  y  $K_y$  la rigidez del muro en dichas direcciones,  $X$  y  $Y$  las distancias del centro de masa del muro al centro de rigidez del piso,  $F_{sis}$  la fuerza sísmica y  $e$  la excentricidad en la dirección de estudio.

El reglamento establece que este tipo de fuerzas deben considerarse aplicando las fuerzas sísmicas en el centro de masa del piso que se está estudiando. La torsión accidental se emplea para considerar la incertidumbre de que no se conozca con precisión la localización del centro masa de manera que se asume una excentricidad existente entre los centros de masa y rigidez igual al 5 por ciento de la dimensión de la edificación en el piso medida perpendicularmente a la dirección de estudio. En el caso de tratarse de una edificación de varios niveles la torsión de diseño debe ser calculada como la suma de las torsiones de diseño de todos los niveles localizados por encima del nivel de estudio.

#### 4.5 MÉTODOS DE REFORZAMIENTO

Para poder establecer un reforzamiento efectivo en el que los muros cumplan con su función de soporte estructural se deben establecer las solicitaciones a las cuales van a

estar sometidos ya que los sismos generarán fuerzas inerciales que se verán aplicadas en los puntos de la estructura donde se concentra la masa. Como los muros son el sistema principal de resistencia de los sistemas de MNR, estas fuerzas inerciales se transmitirán a ellos en forma de fuerzas cortantes que pueden actuar dentro o fuera de su plano, en momentos flectores y en fuerzas axiales. La transmisión de las cargas a lo largo de la estructura debe analizarse con detalle, debido a que esta será la primera parte del análisis estructural que deba llevarse a cabo para un posible reforzamiento de la estructura. Se han establecido modelos que buscan predecir cómo las fuerzas inerciales van a distribuirse en los muros que deben soportarlas. Jaramillo (2002) estableció un mecanismo de transmisión de cargas buscando explicar el comportamiento adecuado de las edificaciones cuando se ven sometidas a sismos intensos.

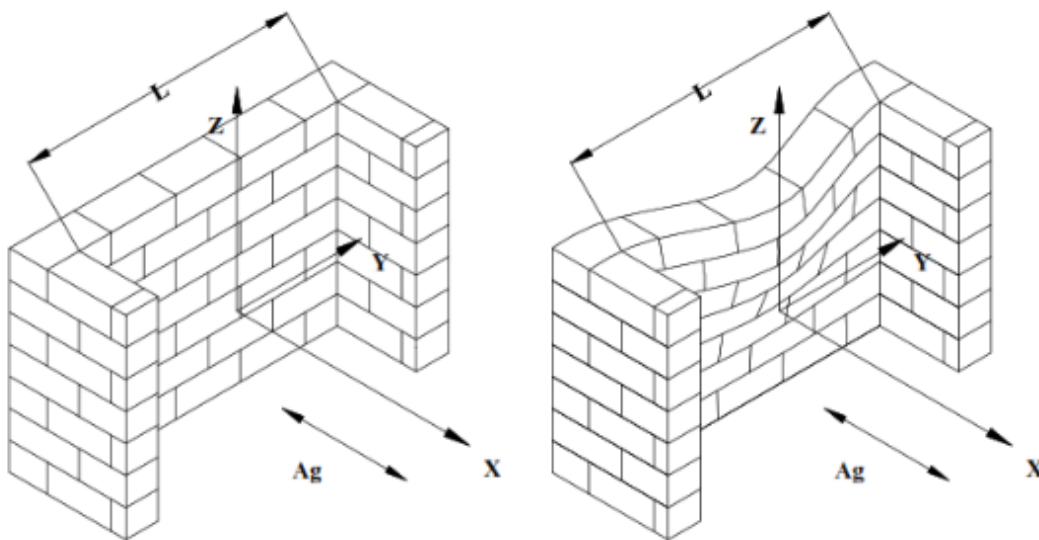


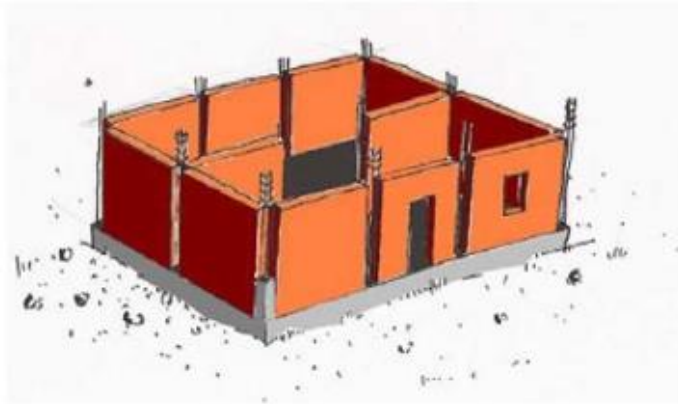
Figura 49. Orientación del muro respecto a la orientación de la base y deformación de éste. Tomado de (Jaramillo, 2002)

El reforzamiento de un muro consiste en darle la capacidad suficiente para que este pueda llegar a soportar de manera segura y adecuada las solicitaciones asociadas a su uso o la amenaza sísmica del sitio en el que se encuentre. Se debe tener en cuenta que las viviendas en MNR pertenecen a personas que no cuentan con los recursos para adquirir viviendas que cumplan con los estándares mencionados. Esto conlleva a que se deban emplear metodologías de reforzamiento que cuenten con un diseño estructural y cuyos materiales e implementación estén al alcance de la población mencionada. A continuación, se presentan algunas de las posibles alternativas empleadas hoy en día en Colombia para el reforzamiento de muros de mampostería en arcilla:

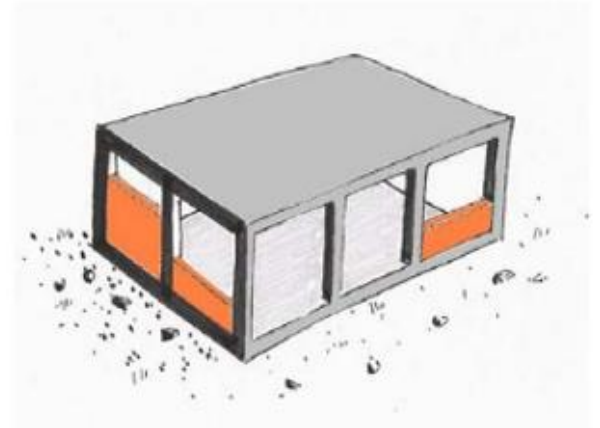
#### 4.5.1 Confinamiento de muros

Esta metodología de reforzamiento consiste en construir elementos nuevos alrededor del muro como vigas y columnas que pueden ser en concreto reforzado o en acero, con

los cuales se busca que el muro cuente con un confinamiento que le ayude a garantizar la correcta transmisión de esfuerzos debidos a las fuerzas que se aplican en los muros. Esta opción ha venido evolucionando debido a su buen comportamiento durante movimientos sísmicos que se han presentado en diferentes partes del mundo y debido a su bajo costo de implementación se ha popularizado en varios países de Suramérica, Centroamérica, Asia y Europa del Este.



a.



b.

Figura 50. Comparación entre a. sistema de muros en mampostería confinada y b. sistema de pórticos resistentes a momento (S. Jain, S. Brzev, 2015).

La diferencia entre un sistema de muros confinados y un sistema de pórticos resistentes a momento se encuentra en el sistema constructivo, ya que en el primero la construcción de los muros se realiza primero y posteriormente se procede a la construcción de las vigas y columnas que generarán el confinamiento en el muro. En el caso de un sistema de pórticos resistentes a momento de concreto el levantamiento de los muros se realiza cuando ya existe un sistema de transmisión de cargas compuesto por vigas y columnas. En cuanto al funcionamiento de los sistemas de transmisión de cargas gravitacionales y laterales en el sistema de muros confinados son los muros los que se encargan de transmitir las cargas, en cambio en un sistema de pórticos las vigas y columnas se encargan de esto y los muros son solo elementos no estructurales que trabajan como sistema de división de áreas.

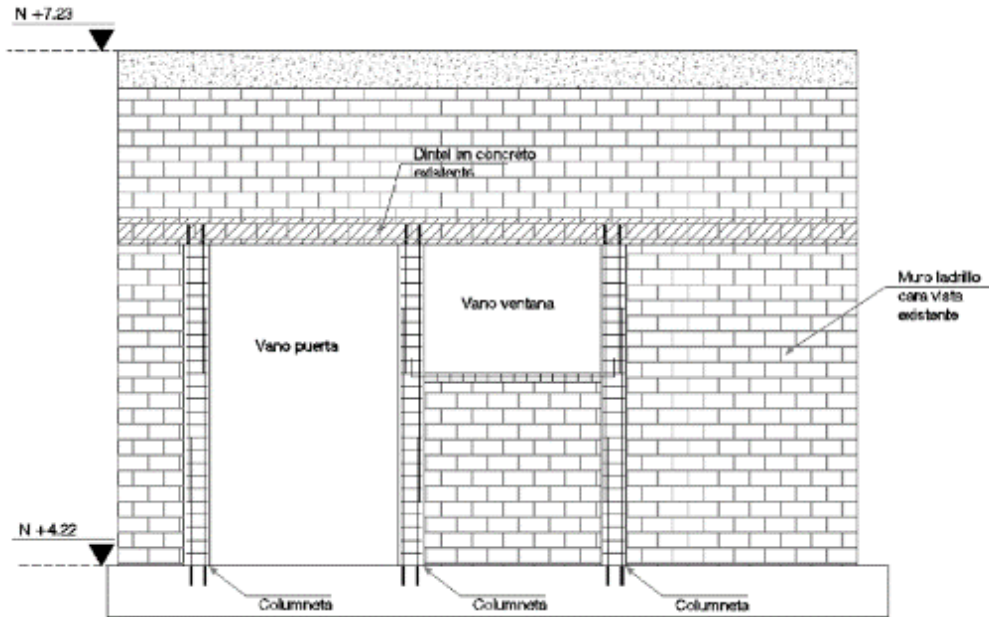


Figura 51. Esquema de reforzamiento por confinamiento (S. López, 2013).

Con esta alternativa se busca que el muro cuente con una mayor resistencia, ductilidad y capacidad de disipación de energía gracias a los elementos nuevos y así reducir los daños y limitar el riesgo de colapso frente a cargas laterales. Por otra parte, al tratarse de un sistema que busca conectar los muros con las placas de los entresijos se garantiza una mejor transferencia de cargas tanto gravitacionales como horizontales y aporta una mejora a la estabilidad de muros dentro y fuera del plano, haciendo que la edificación se comporte como un sistema de “caja amarrada”.

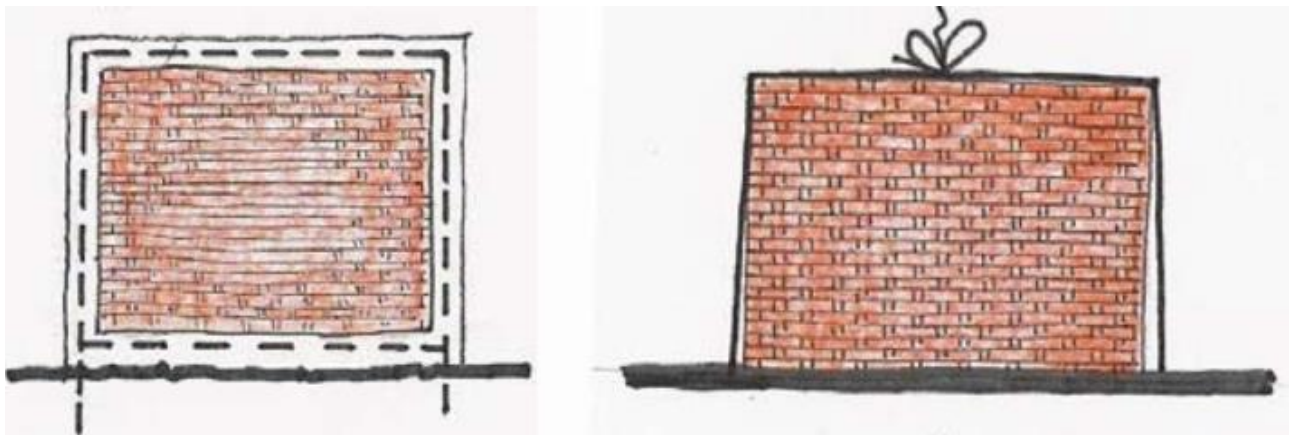


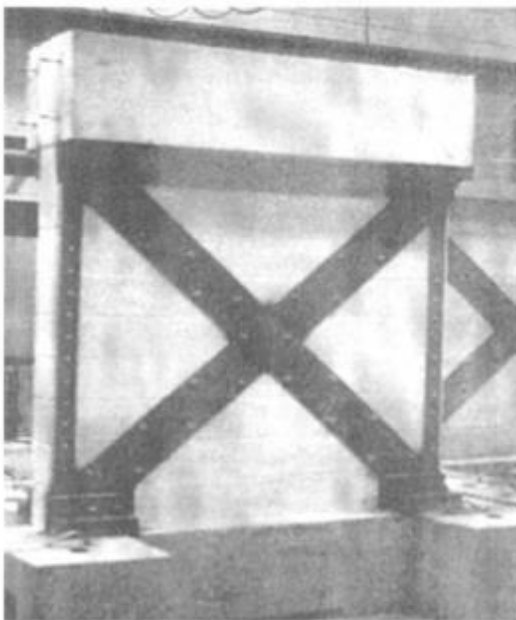
Figura 52. Idealización de reforzamiento por confinamiento.

Ya que se trata de un sistema de reforzamiento en el que se deben implementar nuevos elementos estructurales que le generen a la edificación la ductilidad necesaria para poder disipar la energía durante un movimiento sísmico, se requiere un análisis y detalle específico para el reforzamiento de los elementos de concreto reforzado, lo cual lleva a que este tipo de intervenciones suelen resultar en una alternativa de altos costos

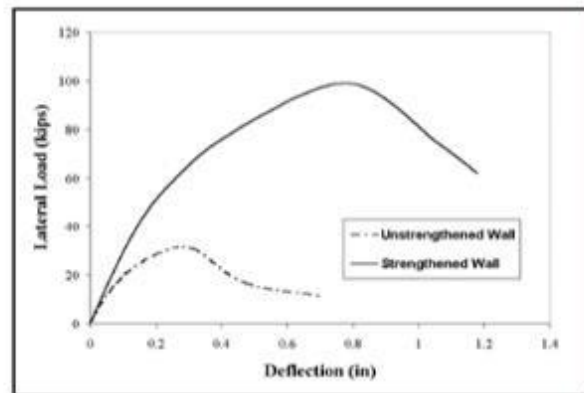


pues es necesario un diseño completo y el uso de materiales que pueden incrementar el valor de los materiales como lo son las barras de acero para el refuerzo del concreto. En cuanto al método constructivo de este tipo de sistema de reforzamiento se debe tener en cuenta que se deben realizar intervenciones importantes en toda la edificación ya que para poder generar el espacio en el que se ubicarán los nuevos elementos de confinamiento se deben romper e incluso remplazar los muros existentes llevando a complicaciones constructivas. Sin embargo, dependiendo del tamaño de la edificación, en algunos casos es la única opción debido a que el estado actual de los muros no cuenta con la capacidad para emplear otros métodos de reforzamiento como el uso de fibras o malla-pañete.

Se suelen realizar en algunos casos reforzamientos de confinamiento empleando elementos de acero estructural. El principio de trabajo y funcionamiento de este sistema es similar al de los elementos de confinamiento contruidos empleando vigas y columnas de concreto reforzado, pero al tratarse de elementos cuyas uniones deben ser detalladas con mayor precisión este sistema suele ser poco empleado para dar a los muros la capacidad de resistencia y disipación de energía esperados.



a.



b.

Figura 53. a. Sistema de reforzamiento de muro de mampostería empleando platinas de acero; b. Resultados de ensayos obtenidos por reforzamiento con platinas de acero. (Secondin, 2003)

#### 4.5.2 AUMENTO DE ÁREA DE MUROS

Debido a que los muros pertenecientes a las viviendas suelen presentar aberturas en el plano debido a la distribución de accesos en la edificación o por el tipo de unidades empleadas para la construcción del muro se suelen tener porcentajes de área para los muros muy bajos. Este sistema de reforzamiento busca crear una continuidad en los muros existentes cerrando aberturas correspondientes a puertas y ventanas y agregar



nuevos muros a la estructura para así darle mayor rigidez para el control de deformaciones de la edificación y aumentar la resistencia para garantizar que la capacidad de los muros es mayor a las fuerzas sísmicas.

Esta alternativa puede resultar económica en cuanto a los materiales, pero resulta en un problema arquitectónico y de ocupación debido a que al realizar este aumento de muros en la edificación se le está restando espacio y se pierde área útil dentro de las viviendas al ser reforzadas. Por otra parte, no se le está asignando al sistema de resistencia sísmica un nivel de ductilidad, sino que se le está aumentando la rigidez y la resistencia por el incremento de áreas de muros, lo cual sigue siendo considerado un inconveniente por la ausencia de disipación de energía en la edificación.

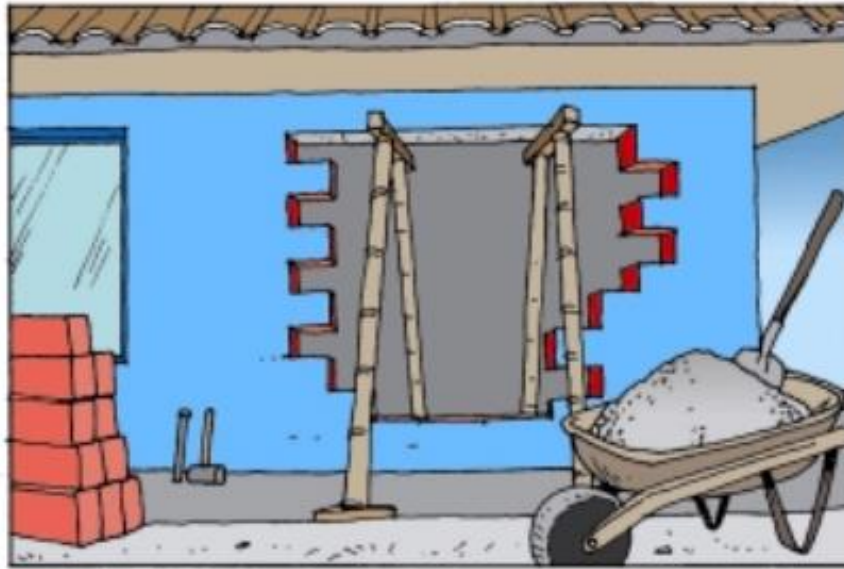


Figura 54. Reemplazo de muros no estructurales o muros con aberturas por muros estructurales (AIS, 2004).

En algunos casos de evaluación de estructuras afectadas por sismos se encuentra que debido al daño grave sufrido por algunos muros que hacen parte del sistema de resistencia principal de la edificación se suele recomendar reemplazarlos por muros estructurales reforzados con base a los requerimientos del reglamento de manera que se garantice un mejor comportamiento en futuros eventos. Para realizar este procedimiento se debe demoler o retirar el muro existente con un alto nivel de precaución para evitar problemas de inestabilidad global en la estructura. Este nuevo muro debe ser similar al muro existente en cuanto a la geometría y debe adaptarse a los muros que no serán reemplazados mediante dovelas de empalme para garantizar la continuidad del reforzamiento.

#### **4.5.3 REFORZAMIENTO CON FIBRAS COMPUESTAS**

El reforzamiento de muros de mampostería con fibras de vidrio y carbón se ha estudiado en los últimos años debido a que al ser aplicadas correctamente sobre un muro este podrá aumentar su resistencia al corte y la disminución de probabilidad de colapso ya que aseguran la integridad de los muros a comparación de cuando no cuentan con ningún tipo de refuerzo. Estos materiales empleados se componen de

resinas y fibras sintéticas que pueden ser de carbono, vidrio y aramida (CFRP, GFRP y AFRP) (Vega, 2015).

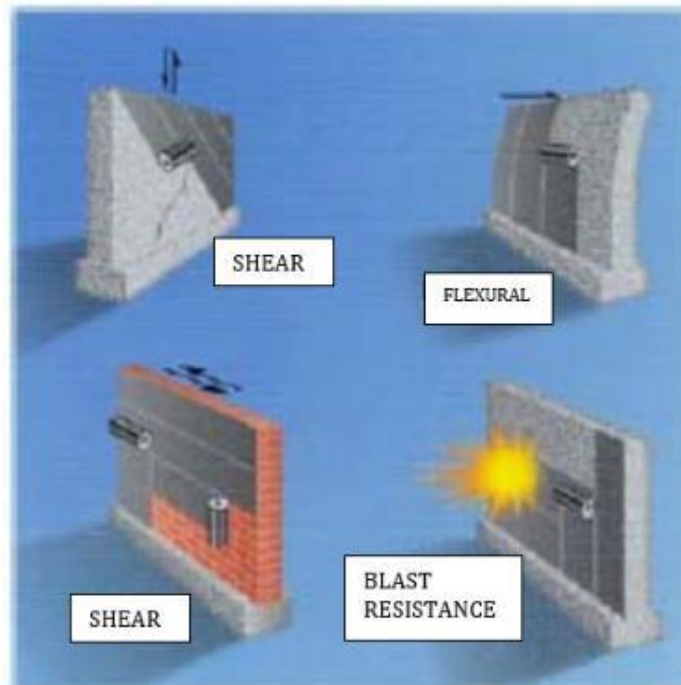


Figura 55. Aplicación de fibra FRP para reforzamiento de muros. (Secondin, 2003)

Esta metodología puede realizarse empleando dos técnicas; la primera consiste en pegar el material compuesto de láminas de FRP en la superficie de los muros mediante un adhesivo y darles la orientación a las láminas dependiendo de qué propiedad del muro se quiera mejorar ya sea la capacidad por corte, por flexión o generar un sistema de confinamiento al muro. La segunda técnica consiste en emplear barras cerca de la superficie, denominada NSM (Near Surface Mounted) e instalarlas en ranuras cortadas de la superficie del muro, las cuales suelen ser las juntas de pega de las unidades de mampostería que se rellenan con epóxico para darle continuidad al refuerzo. El comportamiento a flexión de la MNR mejora empleando las fibras debido a que los esfuerzos de tensión generados no serán soportados por el mortero de pega, ya que pasarán al sistema de fibras que actúan en la superficie del muro.



Figura 56. Muros reforzados empleando sistema de FRP con configuración de diagonales (Vega, 2015).

Las dos técnicas en las que se emplean materiales de fibras presentan resultados positivos para el reforzamiento de los muros, pero su diferencia se da en el proceso de instalación y el acabado que se puede tener una vez se ha finalizado el procedimiento de adecuación (Vega, 2015).

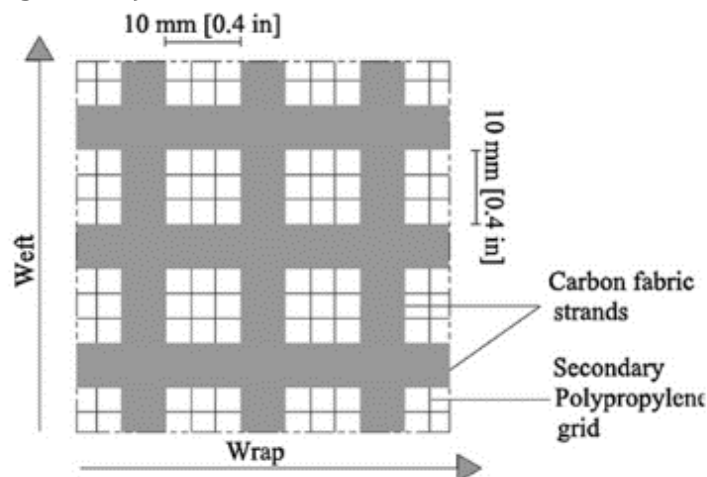


Figura 57. Esquema de reforzamiento empleando fibras FRP. (Babaeidarabad, De Caso, & Nanni, 2014).

A diferencia de otros sistemas de reforzamiento empleados en muros de MNR el uso de fibras no genera un aumento de masa en el muro y por lo tanto en la edificación, lo cual es útil ya que las fuerzas sísmicas no aumentarán. Para su colocación, al tratarse de un reforzamiento externo con materiales compuestos no requiere demolición de partes existentes del muro (salvo algunas regatas para anclaje), por lo tanto tendrá un mínimo cambio de apariencia (Vega, 2015). estelos resultados de este sistema de reforzamiento son positivos siempre y cuando el sistema de anclajes en la base sea suficiente para realizar una buena transferencia de cargas, ya que si este falla, se pierde la efectividad del refuerzo.

Esta metodología resulta poco conveniente como solución de reforzamiento de viviendas de personas de bajos recursos debido a que las fibras no se producen a nivel nacional lo cual genera elevados costos de materiales y la exposición al medio ambiente o cambios de temperaturas hacen que las propiedades mecánicas de las fibras se vean afectadas, para lo cual es necesario emplear revestimientos exteriores, también costosos

#### 4.5.4 REFORZAMIENTO CON CONCRETO REFORZADO

Consiste en aplicar a los muros de MNR existentes un revestimiento de concreto reforzado que se forma a partir de una capa de concreto con un sistema de reforzamiento adecuado en la cara exterior del muro de manera que el muro va a contar con un espesor mayor lo cual aumentará el área y la rigidez dentro y fuera del plano. Se recomienda que este tipo de reforzamiento se realice en las dos caras del muro, pero debido a que la mayoría de las viviendas informales que se han estudiado cuentan con muros compartidos con otras edificaciones no suele ser posible tener acceso a la otra cara del muro. La efectividad de este sistema de reforzamiento en muros ha sido estudiada en la Universidad Técnica de Estambul, donde mediante ensayos de probetas reforzadas en una sola cara con concreto y malla electrosoldada como refuerzo se encontró que se logra un incremento en la resistencia entre 100% y 170% dependiendo del concreto aplicado con respecto a muestras sin reforzamiento (Torunbalci, Ediz, & Sutcu, 2009).



Figura 58. Revestimiento de muro de mampostería (AIS, 2004).

La colocación del concreto suele realizarse mediante procesos de lanzado ya sea con mezcla húmeda o mezcla seca y se recomienda que sea realizado empleando equipos de bomba o inyector para garantizar la uniformidad del concreto aplicado a la cara del muro. El refuerzo empleado debe seguir los requerimientos establecidos en el reglamento y se recomienda que el diámetro de las barras sea pequeño (menores o iguales a No. 5) para poder asegurar una correcta adherencia con la mezcla de concreto.

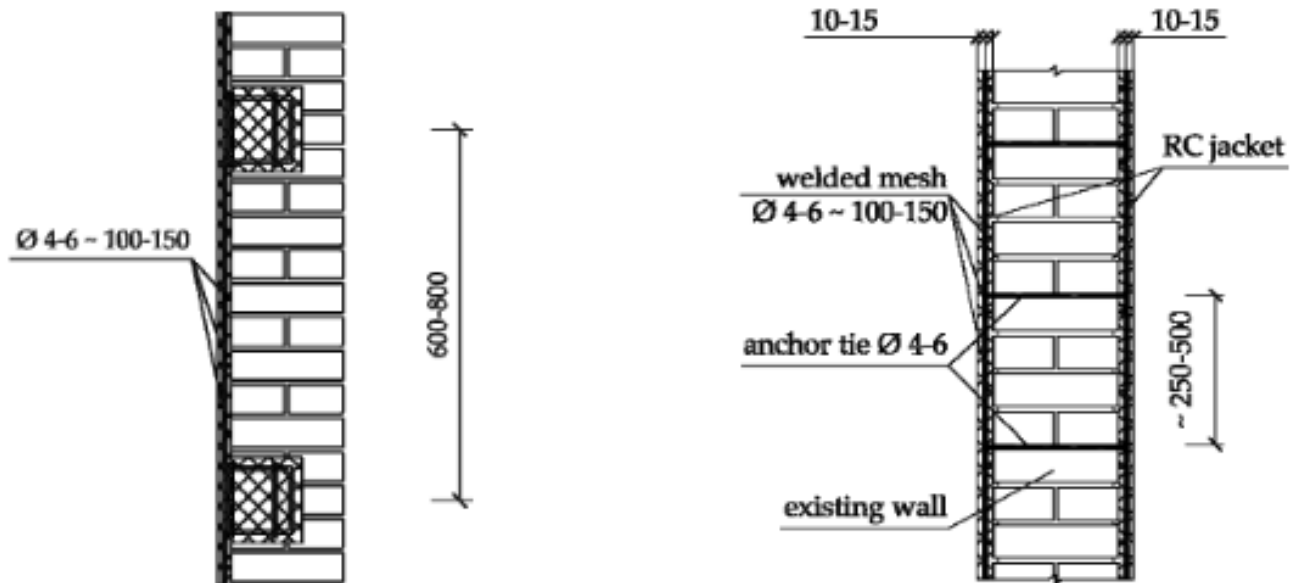


Figura 59. Aplicación de refuerzo en una y dos caras para muro de mampostería (Churilov & Dumova-Jovanoska, 2012).

La implementación de este sistema de reforzamiento requiere que se retire del muro los acabados existentes debido a que se debe garantizar el espesor del concreto de reforzamiento con base a las dimensiones establecidas en el diseño. El acero de refuerzo debe colocarse mediante un sistema de anclajes mecánicos que atraviesen el muro de lado a lado y deben emplearse guías de alambre para poder controlar el alineamiento durante la aplicación del concreto. Esto requiere una mano de obra extensa para el reforzamiento del muro y al tratarse de un aumento en la sección puede verse comprometido el espacio interno de la vivienda, pero para el caso de edificaciones cuyo uso se considera indispensable y se requiere un funcionamiento efectivo de la edificación, resulta una buena alternativa de reforzamiento.

#### 4.5.5 REFORZAMIENTO CON MORTERO Y MALLA ELECTROSOLDADA

Una vez se ha realizado la inspección y evaluación de vulnerabilidad de una edificación se debe tomar la decisión de que metodología de reforzamiento debe emplearse y para esto se tienen en cuenta varios factores como lo son: efectividad, facilidad constructiva, costo y mantenimiento. Las alternativas propuestas anteriormente cuentan con estudios que garantizan su funcionamiento, pero puede que no resulten ser la opción más viable para el reforzamiento de muros de viviendas en mampostería. El reforzamiento con malla electrosoldada y mortero es una de las metodologías más económicas en cuanto a costo por metro cuadrado de muro reforzado y los resultados obtenidos en ensayos de laboratorio han demostrado que es una alternativa comparable con los otros sistemas de reforzamiento.

Este reforzamiento consiste en colocar una malla electrosoldada en la cara del muro (se recomienda hacerlo en las dos caras) empleando amarres o puntillas para que esta

quede fija al muro y no se desprenda al momento de aplicar el mortero de pañete. Al colocar la malla se debe anclar al sistema de cimentación y viga superior, si se cuenta con esta, para poder garantizar que los esfuerzos se transmitan correctamente del muro a la cimentación; esto con el fin de evitar que el muro se desprenda de la base y se genera una rotación que termina en una falla por compresión de los bloques en las esquinas pues solo el mortero de pega entre la primera hilada de unidades y la viga de cimentación puede resistir la tensión producida por el momento de volcamiento. Para garantizar que la malla queda adecuadamente conectada con la viga de cimentación suele emplearse un sistema de anclajes que consiste en barras de acero corrugado adheridas mediante un epóxico y se hace un amarre con alambre entre las barras y la malla de refuerzo. El sistema de conexión de la malla con el muro debe realizarse de manera que esta logre alcanzar su resistencia a la fluencia especificada  $F_y$  y se debe garantizar que el refuerzo sea continuo a todo lo largo y ancho del muro, empleando empalmes si es necesario y siguiendo los lineamientos del Título C para cumplir con las especificaciones de longitud de desarrollo.

Esta estrategia se ha empleado en distintas partes del mundo buscando darle mayor capacidad de carga a los muros. Se ha utilizado en muros construidos con bloques de adobe en Guatemala como solución al posible colapso de viviendas que se vieron afectadas durante el terremoto de 1976 para lo cual se empleaban mallas de acero y mortero de cemento con relación 1:2 de 1 centímetro de espesor (CONRED, 2000).

En Pakistán se realizaron ensayos en muros de mampostería a escala real, cuya configuración era cuadrada, donde se empleó un sistema malla electrosoldada y mortero de cemento para el sistema de reforzamiento. En sus resultados pudieron determinar que la capacidad sísmica de los muros al ser reforzados empleando este método podía tener un aumento de hasta el 43%, de manera que durante un evento sísmico fuerte se podía asegurar la vida de los ocupantes de las viviendas pues se logra prevenir el colapso de los muros. Por otra parte se encontró que al emplear la malla electrosoldada se puede aumentar la ductilidad del sistema estructural y la resistencia a las cargas laterales en un 10% (Ahmad, Ali, Ashraf, Naeem, & Alam, 2012).





Figura 60. Reforzamiento de muro empleando sistema de mortero y malla electrosoldada (Carrillo, Pincheira, & Flores, 2020).

Otros estudios acerca de este tipo de reforzamiento han encontrado que el comportamiento de un muro sometido a cargas laterales cíclicas va a depender del tamaño de la malla, la deformación aplicada al muro, el sistema de anclaje a la base y la calidad del mortero empleado como pañete (S. Alcocer, J Ruiz, J. Pineda, 1996). En la Escuela Colombiana de Ingeniería se realizaron ensayos de compresión diagonal en muros empleando este tipo de reforzamiento donde se encontró que la resistencia a la tracción diagonal con respecto a un espécimen no reforzado es hasta de 2.5 veces en promedio. En cuanto a ensayos de carga lateral cíclica para muros a escala real, se encontró que empleando este sistema de reforzamiento el mecanismo de falla no resulta ser repentino, sino que se da de forma gradual, lo cual permite la evacuación de las personas que se encuentran en el interior de la edificación cuando los estados límites de resistencia se ven superados por las sollicitaciones en los muros (S. López, 2013). Estos ensayos se realizaron sin tener en cuenta la presencia de carga axial en el muro aparte de su peso propio.

Para el diseño de este sistema de reforzamiento los materiales empleados como unidades de mampostería, mortero de pega, acero de refuerzo y mortero de revoque deben cumplir con los requisitos y especificaciones del reglamento NSR-10 establecidas en el Título D correspondiente a Mampostería Estructural. En este capítulo del reglamento se establece que los muros deben analizarse como elementos de sección transformada asumiendo que se trabaja con un solo material como base y diseñarse de forma que el muro trabaje de manera monolítica.

Para esta metodología de reforzamiento en la que se cuenta con acero de refuerzo, se debe tener en cuenta un refuerzo mínimo para la colocación en los muros, ya que si este

no es suficiente pueden presentarse fisuraciones en el mortero de pañete por retracción y fraguado. En la sección D.12.3.2 del título D se establece la cuantía mínima requerida con un valor de 0.00035 para cada lado del muro y en dirección horizontal y vertical. La separación del refuerzo no puede ser superior a 300 mm, aunque en el mercado de Colombia solo se consiguen mallas electrosoldadas con separación de 150 mm.

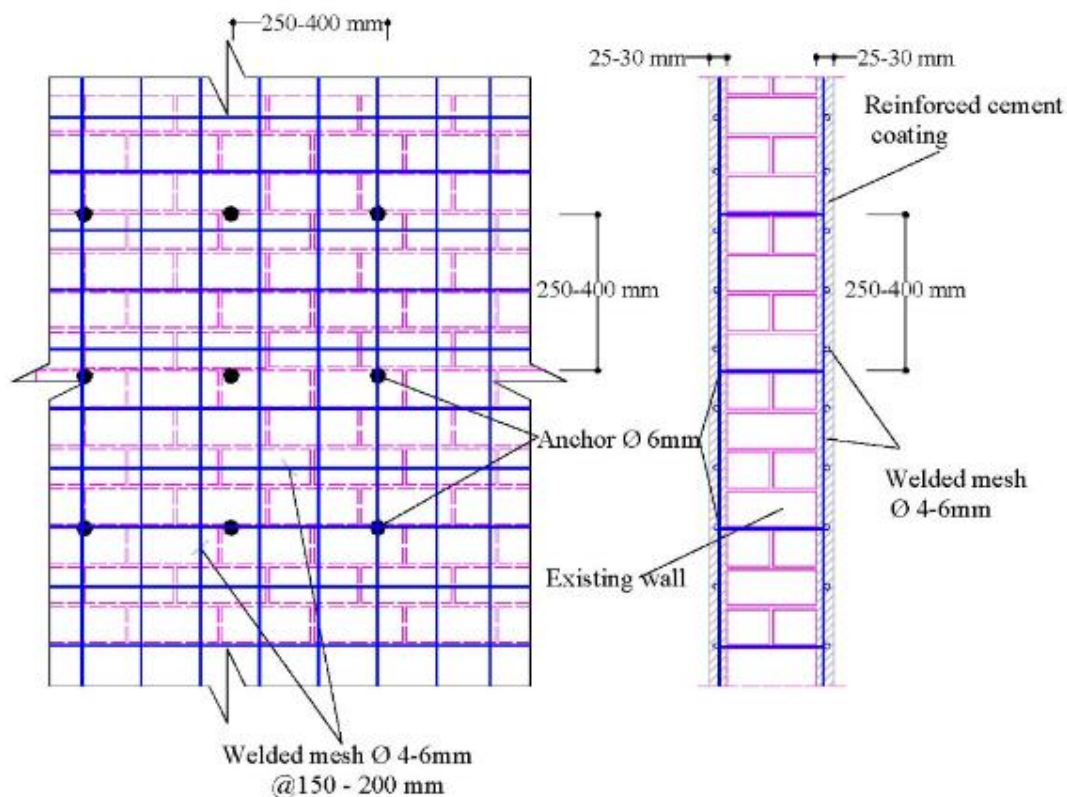


Figura 61. Esquema de reforzamiento empleando malla electrosoldada y mortero (Orhon, 2012).

El mortero empleado para generar el recubrimiento de la malla debe mezclarse de manera que cuente con una buena trabajabilidad y se adhiera correctamente al muro, razón por la cual no suele prepararse empleando únicamente arena de río que le aporta una mejor resistencia a la compresión, sino que al agregar una proporción de arena amarilla o de peña la mezcla es más fácil de manejar y de aplicar al muro. El espesor no puede ser menor a 15 mm ni mayor a 45 mm y el recubrimiento para el refuerzo debe ser mínimo de 5 mm a la superficie de mampostería y 10 mm externo a la malla (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

En este capítulo se recolectó información acerca de las estrategias de reforzamiento empleadas en Colombia hoy en día que pueden ser aplicables a los muros de MNR, definiendo sus ventajas, desventajas e implementación. Se encontró que las metodologías de confinamiento de muros y aplicación de concreto reforzado resultan ser opciones que pueden afectar la distribución de espacios internos de la edificación y al igual que el uso de fibras compuestas como reforzamiento pueden resultar costosas por su mano de obra. Por otra parte, se encontró que el uso de mortero con malla



electrosoldada puede resultar como una opción más apta para el reforzamiento debido a que no requiere un procedimiento constructivo complejo y no afecta de forma considerable los espacios interiores de la edificación.

## **5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

De los parámetros seleccionados para revisión en este trabajo, mencionados en el capítulo anterior, la resistencia al corte y la efectividad de las diferentes estrategias de reforzamiento representada en el factor  $K_p$  requieren de ensayos experimentales que permitan validar o modificar sus valores.

Con este fin, se construyeron especímenes a escala real y muretes de mampostería de arcilla con los materiales y características geométricas típicas de estas edificaciones construidas de manera informal para ser ensayados ante diferentes sollicitaciones en el laboratorio de materiales de la Escuela Colombiana de Ingeniería y así evaluar comportamientos y modos de falla. Buscando que los muros construidos tuvieran la mayor similitud posible con los que pueden encontrarse en las viviendas de Bogotá los muros fueron construidos por varias personas y se consideró que en algunos casos se encuentran muros sin pega vertical.

Las variables que se analizaron fueron las siguientes:

- Tipo de reforzamiento:
  - ✓ Muros sin refuerzo (referencia)
  - ✓ Muros con refuerzo de pañete de mortero
  - ✓ Muros con malla electrosoldada y mortero
- Tipo de sollicitación:
  - ✓ Carga en el plano (monotónica y cíclica)
  - ✓ Carga fuera del plano

Los ensayos para la caracterización del material y de la mampostería fueron:

- ✓ Composición de mezclas de mortero existente
- ✓ Compresión de cilindros de mortero
- ✓ Absorción en unidades de mampostería
- ✓ Compresión en unidades de mampostería
- ✓ Compresión en muretes
- ✓ Compresión diagonal

En total, se construyeron 17 muros angostos (1.2x2.4 m), 10 muretes para compresión diagonal (1.2x1.2 m) y 5 muretes para compresión simple. Todos los ensayos se realizaron buscando simular las condiciones reales de carga que se puedan presentar en muros de mampostería existentes y se instrumentaron para obtener valores de desplazamientos y deformaciones a medida que se aplicaban las cargas, véase la Tabla 11.

Para estudiar el comportamiento de los muros por acción de cargas fuera del plano se realizaron ensayos de flexión fuera del plano, para esto se construyeron y ensayaron 5 muros.

## 6. ENSAYOS

### 6.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LOS MUROS

#### 6.1.1 COMPOSICIÓN DE MEZCLAS DE MORTERO EXISTENTE

Como fase inicial experimental se caracterizaron los diferentes materiales que se emplearon en la construcción de los muros. Para establecer el tipo de mortero de pega se tomaron muestras de muretes extraídos de edificaciones existentes aportados por Build Change, a los cuales se les realizaron ensayos de desagregación de material para establecer en qué proporción se habían realizado las mezclas.



Figura 69. Murete de mampostería no reforzada existente.

Para este procedimiento se emplearon muestras de mortero de pega de 3 muros diferentes las cuales se pulverizaban manualmente para poder trabajar con el material en el menor tamaño posible. Una vez se tenía la muestra de mortero lista, se pesaba una porción de 15 gramos para establecer el peso inicial y compararlo con el peso sin material cementante para establecer la cantidad de arena y la proporción para la mezcla del mortero.

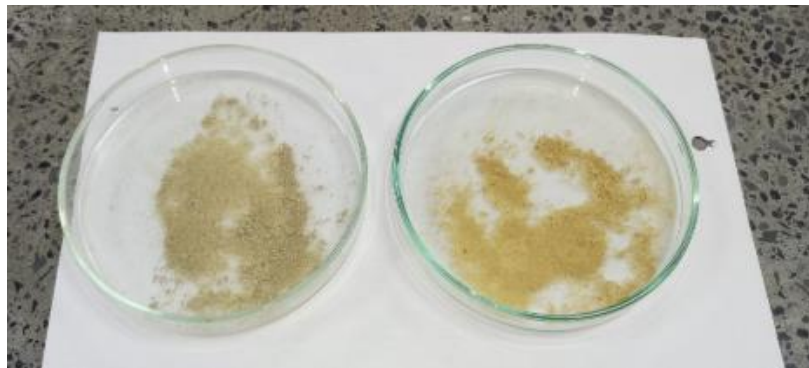


Figura 62. Procedimiento de disgregación de mezclas de mortero existente.

El material cementante se elimina de la muestra empleando ácido clorhídrico a una concentración 1 normal, de forma que la porción tomada de mortero pulverizada se mezclaba durante 35 minutos para poder eliminar el cemento (L. Cimitan, P. Rossi, 2008). El material debe ser colocado en un recipiente refractario para secarlo durante

una hora en horno, luego pesarlo para determinar el contenido de arena y establecer la relación arena: cemento de la mezcla original. Debido a que se trata de una porción muy pequeña de la muestra se solicitó al laboratorio de ingeniería ambiental de la Escuela la colaboración con la medición empleando una balanza con una precisión de 0.1 microgramos para establecer el peso de la arena obtenido.



Figura 63. Procedimiento de disgregación de mezclas de mortero existente.

### 6.1.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO DE PEGA

Durante la construcción de los muretes de compresión diagonal se tomaron muestras del mortero de pega para la elaboración de cilindros de mortero y así determinar la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días. La dosificación empleada fue la obtenida a partir de los resultados de los ensayos de desagregación descritos antes. Los cilindros tenían un diámetro de 45 mm y una altura de 90 mm cumpliendo con una relación de diámetro/altura de 0.5. Estos se sacaban del molde a las 24 horas de ser elaborados y se sumergían en agua con cal para el proceso de curado el cual iba a depender del tiempo en el que se deseaba realizar el ensayo de compresión.



Figura 64. Cilindros de mortero ensayados a compresión

### 6.1.3 BLOQUES DE MAMPOSTERÍA

Las unidades de mampostería eran bloques de arcilla No. 5 de perforación horizontal a los cuales se les realizaron ensayos de compresión y absorción con base a los requerimientos establecidos en el reglamento NSR-10. Estos bloques fueron en parte donados por la empresa ladrillera Ceragres de la ciudad de Bogotá que es proveedor de materiales a las bodegas de la ciudad. Algunas de las unidades contaban con esquinas desportilladas y problemas de alabeo en los tabiques interiores que garantizaban la similitud con las condiciones de construcción de muros de mampostería que se habían observado en las visitas a viviendas con Build Change en la ciudad de Bogotá.

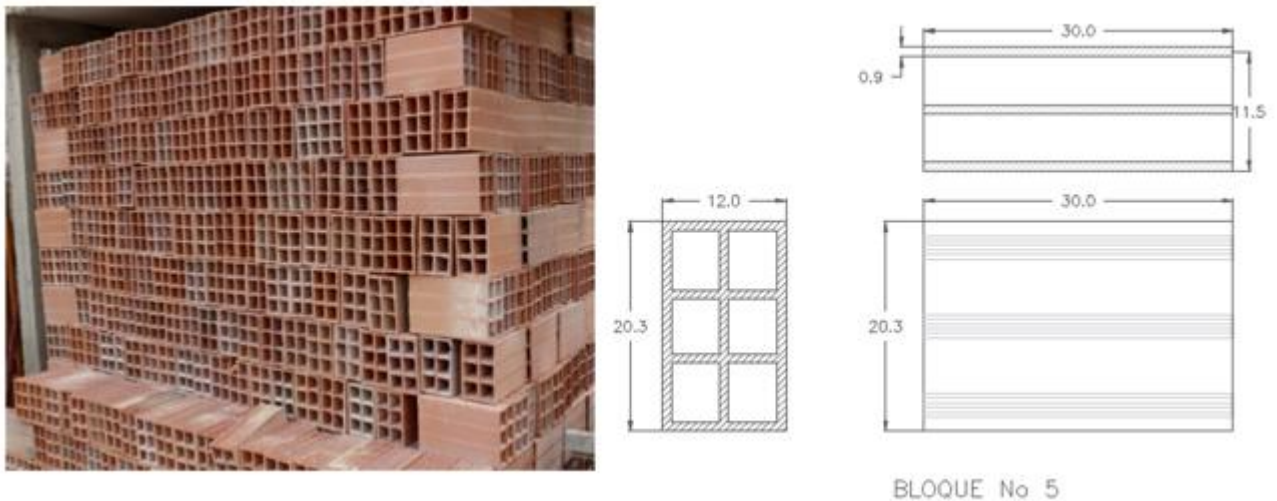


Figura 65. Bloques de mampostería No. 5; Dimensiones promedio de bloques No 5 de Ceragres.

### 6.1.4 ENSAYOS DE ABSORCIÓN EN UNIDADES DE MAMPOSTERÍA

Se realizaron ensayos de absorción en 5 unidades de acuerdo con los requerimientos de la norma NTC 4017 mediante el ensayo de inmersión durante 24 horas. El porcentaje de absorción del espécimen se calcula empleando la expresión:

$$\% \text{ absorción} = \frac{100 \times (W_{ss} - W_s)}{W_s} \quad (47)$$

Donde  $W_s$  es el peso del bloque obtenido antes de ser sumergido y  $W_{ss}$  el peso luego de ser sumergido (ICONTEC, 2005). Este porcentaje de absorción será un factor importante en cuanto a la adherencia entre el mortero de pega que une las hiladas conformadas por las unidades de mampostería y se recomienda que su valor sea superior al 10%.

### 6.1.5 ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN UNIDADES DE MAMPOSTERÍA

Estos ensayos se realizaron de acuerdo con los requerimientos de la norma NTC 4017. Se ensayaron 5 unidades escogidas aleatoria y debidamente refrentadas.



Figura 66. Ensayo de compresión en unidades de mampostería.

Para este ensayo se debe emplear una velocidad de carga de manera que cuando se alcance la mitad de la carga de falla esperada se ajuste la máquina para que se produzca la falla entre 60 y 120 segundos después. Con la carga última de falla se procede a calcular la resistencia a la compresión y con las dimensiones del bloque tomadas antes de iniciar el ensayo.

$$\text{Resistencia a la compresión. } C = \frac{W}{A} \quad (48)$$

Donde:

C: Resistencia a la compresión [N/ m<sup>2</sup> o kg/m<sup>2</sup>]

W: Carga máxima (de rotura) indicada por la máquina de ensayo [N o kg]

A: Promedio de las áreas brutas de las superficies superior e inferior del espécimen [m<sup>2</sup>]

En el caso de que se busque calcular la resistencia sobre área neta se deben descontar las áreas correspondientes a los vacíos del bloque.

#### **6.1.6 ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN MURETES DE MAMPOSTERÍA**

Estos ensayos se realizaron de acuerdo con los requerimientos de la norma NTC 3495 para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería no reforzada. Se construyeron cinco muretes formados por tres hiladas cada una de un bloque y medio unidas mediante mortero de pega de 1 centímetro de espesor tanto horizontal como vertical con las mismas propiedades de los muros a escala real, debidamente refrentadas. Para este ensayo se implementó un deformímetro mecánico en una de las caras del murete para obtener desplazamientos en una longitud de ensayo definida para determinar la deformación unitaria del murete y así poder establecer una



curva de esfuerzo vs deformación unitaria con el fin de obtener el valor experimental del módulo de elasticidad de la mampostería.

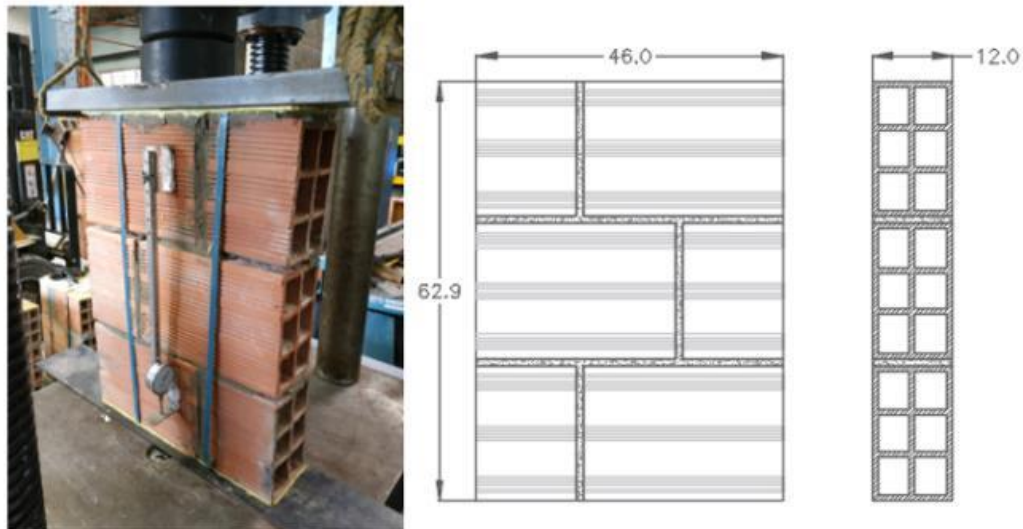


Figura 67. Muretes para ensayos de compresión.

Para el cálculo de la resistencia a compresión de la mampostería se divide la carga máxima soportada por el murete entre el área transversal de la cara que recibe la carga. La norma NTC 3495 establece que al valor obtenido de la resistencia se le debe aplicar un factor de corrección por esbeltez que va a depender de la altura y la dimensión transversal menor (espesor) del murete. Este factor se puede tomar de la siguiente tabla y en caso de que la relación altura / espesor no se encuentre se deben interpolar los valores requeridos.

$a_m/e_m^A$	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Factor de corrección	0,75	0,86	1,00	1,04	1,07	1,15	1,22

<sup>A</sup>  $a_m/e_m$  - Relación entre la altura y la dimensión transversal menor (espesor) del murete.

Tabla 11. Factores de corrección por esbeltez para la resistencia a la compresión de muretes de mampostería (ICONTEC, 2003).

El cálculo del módulo de elasticidad se obtiene con la pendiente del tramo comprendido entre 0.05f<sub>m</sub> y 0.33 f<sub>m</sub> de la curva de esfuerzo vs. Deformación unitaria obtenida con los datos de carga y desplazamiento del deformímetro.

### 6.1.7 ENSAYOS DE COMPRESIÓN DIAGONAL EN MUROS

Los ensayos de compresión diagonal en muretes se realizaron de acuerdo con los requerimientos de la norma ASTM E519 *Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages*. Para el montaje de este ensayo se empleó un sistema de dos cabezales de acero colocados en esquinas opuestas del espécimen a ensayar, unidas por dos barras de acero roscadas de 1/2" de diámetro ajustadas con tuercas y

platinas de apoyo. En el cabezal superior se apoya un gato hidráulico con el cual se aplicará la carga de compresión transmitida a los cabezales y a la vez a lo largo de la diagonal del murete durante en ensayo. En cuanto a la instrumentación del ensayo, se emplea en el cabezal del gato una celda de carga para conocer la fuerza aplicada al murete y en las dos caras se emplean deformímetros de forma diagonal para poder establecer las deformaciones durante el ensayo. La deformación se obtuvo como el promedio de las lecturas de los deformímetros en cada dirección para poder tener una buena aproximación de el acortamiento y alargamiento del espécimen.

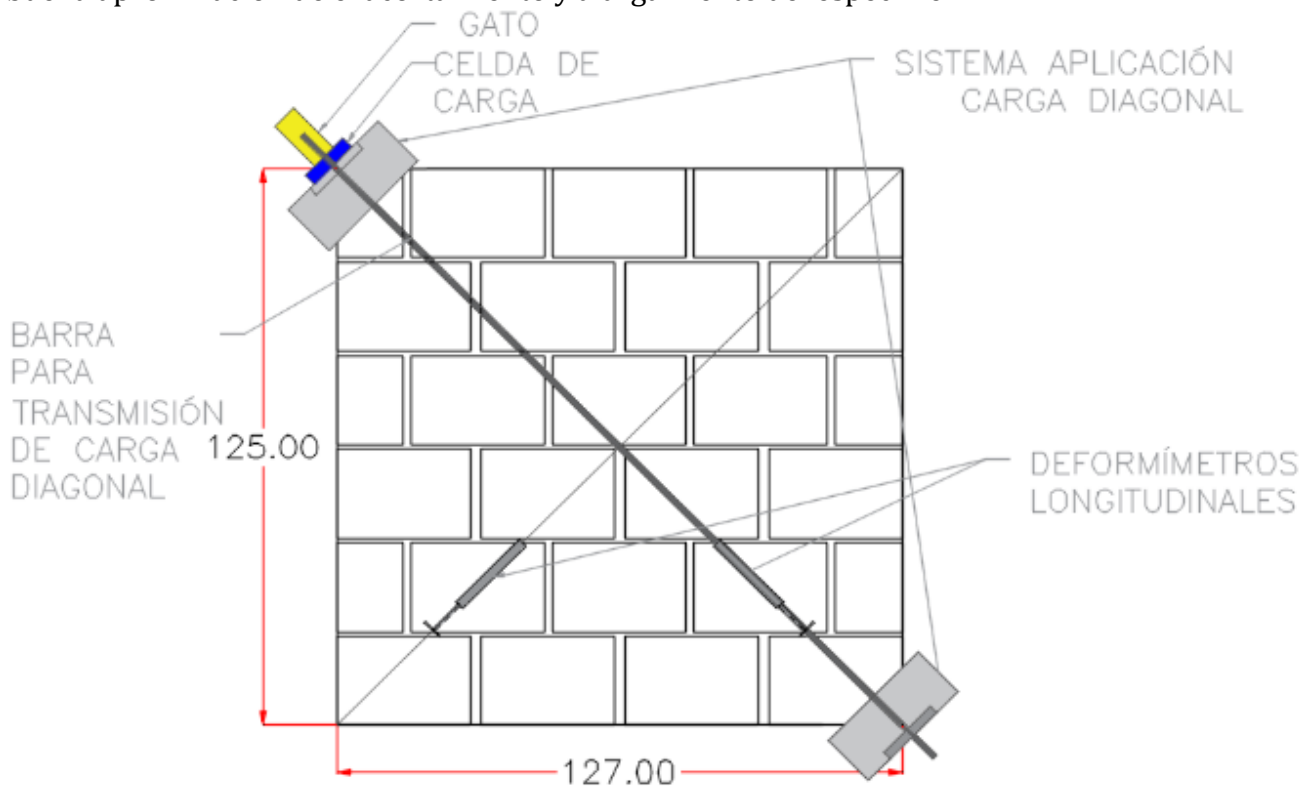


Figura 68. Esquema de ensayo de compresión diagonal en muretes.

Se construyeron 10 muretes de aproximadamente 1.20 metros de ancho por 1.20 metros de altura, de los cuales 5 contaban con mortero de pega vertical y 5 no; esto debido a que en las visitas realizadas a viviendas de construcción informal en Bogotá se observó que algunos muros no contaban con mortero de pega vertical entre los bloques de forma que se decidió evaluar esta propiedad en los ensayos de compresión diagonal. Para la construcción se empleaba un cajón en la base al cual se le colocaban en el interior cilindros de concreto y se llevaba con arena compactada superficialmente para luego empezar a levantar el murete compuesto por 6 hiladas de bloques. Durante el levantamiento del murete se tomaban muestras de mortero para ensayar cilindros y así saber la resistencia a compresión para el día del ensayo. Los muretes se ensayaban a los 28 días después de haber sido construidos.



Figura 69. a. Sistema de aplicación de carga; b. Instrumentación del espécimen.

Siete días antes del ensayo se debían rellenar las perforaciones de los bloques de las esquinas para evitar que se produjera una falla por aplastamiento en estas unidades y poder garantizar que el espécimen iba a fallar por cortante en la diagonal. Para el cálculo de la resistencia al corte de la mampostería se debe emplear el área neta y la carga máxima obtenida con la celda de carga empleada en el ensayo

$$S_s = \frac{0.707P}{A_n} \quad (49)$$

Donde  $S_s$  es el esfuerzo cortante sobre el área neta [MPa],  $P$  es la carga máxima aplicada durante el ensayo [N] y  $A_n$  es el área neta del espécimen que puede calcularse como

$$A_n = \left( \frac{W + h}{2} \right) t n \quad (80)$$

Donde  $W$  es el ancho [mm],  $h$  la altura,  $t$  el espesor total del murete y  $n$  el porcentaje de área sólida de las unidades expresado como decimal. El valor de  $n$  se determinó con base en las medidas de las aberturas de los bloques empleados en la construcción de los muretes. La deformación unitaria por cortante se obtiene a partir de los de las lecturas de los deformímetros colocados en las caras del murete y debe calcularse como

$$\gamma = \frac{|\Delta V| + |\Delta H|}{g} \quad (91)$$

Donde  $\gamma$  es la deformación unitaria por cortante o distorsión angular,  $\Delta V$  el acortamiento en la dirección paralela a la base del muro,  $\Delta H$  el alargamiento en dirección perpendicular a la base del muro y  $g$  la longitud de ensayo la cual debe ser igual para la medida horizontal y vertical. Una vez conocida la deformación unitaria y el esfuerzo cortante se calcula el módulo de rigidez o de corte empleando la expresión:

$$G = \frac{S_s}{\gamma} \quad (102)$$



### 6.1.8 ENSAYOS DE CARGA LATERAL CÍCLICA

Para los ensayos de carga lateral cíclica se construyeron 4 tipologías de muro de 1.20 metros de ancho por 2.40 metros de altura los cuales se diferenciaban en el sistema de reforzamiento aplicado: sin refuerzo, pañete en una cara, malla y pañete en una cara y malla y malla y pañete en las dos caras. Para la construcción de los muros se emplearon vigas de concreto reforzado con una sección transversal de 15 por 20 centímetros y una longitud de 1.60 metros para la base y en la parte superior una viga con sección transversal de 12 por 20 centímetros y una longitud de 1.20 metros. Sobre la viga de cimentación se levantaron los muros que contaban con 11 hiladas de bloques de mampostería unidas mediante mortero de pega de 1.5 a 2.0 centímetros de espesor.

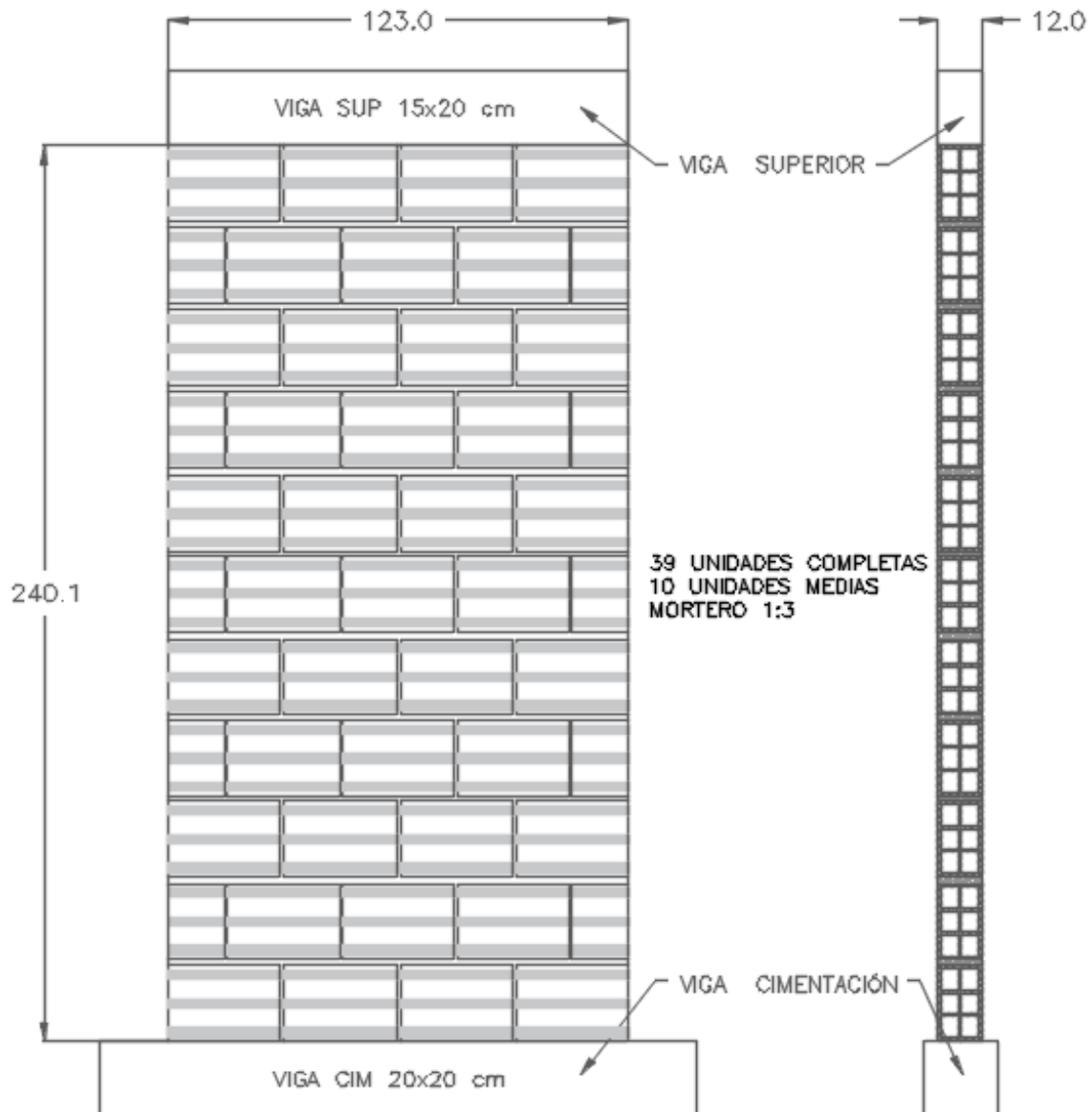


Figura 70. Esquema de muro angosto.

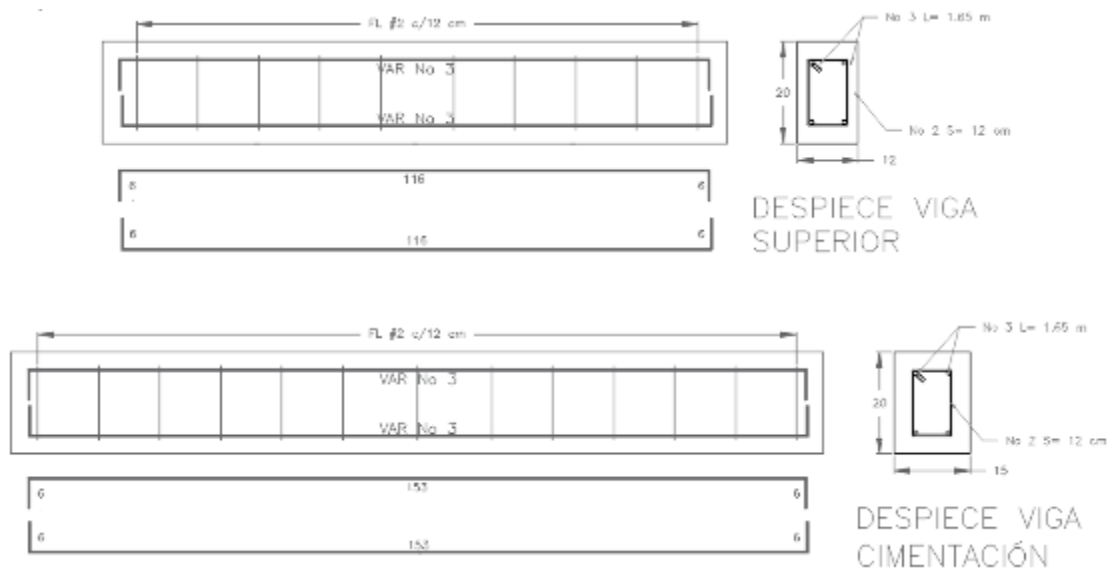


Figura 71. Despiece de vigas superior y de cimentación.

Los tres muros construidos que no contaban con ningún tipo de reforzamiento se denominaron MC1PD, MC2PD y MC#S de los cuales los dos primeros correspondían a ensayos cíclicos y el tercero a ensayo monotónico; dos muros se construyeron y reforzaron con una capa de pañete en una de las caras los cuales se denominaban MSP#-PD-PH#5 que corresponde a Muro Solo Pañete - cíclico - Perforación Horizontal #5. Estos muros no contaban con anclajes a la viga de cimentación. Los muros reforzados con malla y pañete en una sola cara fueron cinco y se denominaron MMP#-PD-PH#5 que corresponde a Muro Malla Pañete - cíclico - Perforación Horizontal #5 y un muro reforzado con malla y pañete en las dos caras denominado MMPD DC.

La malla electrosoldada empleada para el reforzamiento era de 4 milímetros de diámetro con separación de 15 centímetros. Para su colocación se emplearon varillas No. 3 ancladas a la viga de cimentación mediante epóxico SIKADUR Anchorfix 4 (especificaciones en anexos) con una profundidad de anclaje de 15 centímetros. Para garantizar que la malla permaneciera unida al muro se perforaban los bloques en 5 puntos y se colocaba un gancho de 4 milímetros de diámetro junto con mortero para adherirlo a los bloques.

Los muros que serían reforzados contaban con una capa de pañete de 3 centímetros de espesor para la cual se empleó una relación de cemento: arena de 1:3. Debido a que este mortero debe ser aplicado en toda el área de la cara del muro se requiere que tenga una buena manejabilidad de manera que en la mezcla se decidió emplear un agregado compuesto por arena de peña y arena de río en proporción 25%-75% ya que la arena de peña le aporta un mejor manejo a la mezcla de mortero que en el caso de solo emplear arena de río. Para poder determinar la resistencia a la compresión del mortero de pañete aplicado en los muros se tomaron muestras para cilindros los cuales serían ensayados a 7, 14 y 21 días mediante ensayos de compresión y así poder establecer la fecha de ensayo de los muros con base a la resistencia adquirida por el mortero. Al día siguiente de haber sido colocado el pañete se afinaba la superficie del muro empleando

una mezcla de mortero con alto contenido de agua para dar un acabado liso al muro y se realizaba el proceso de curado en el pañete en los días siguientes para garantizar que no se presentaran fisuras por retracción y fraguado.

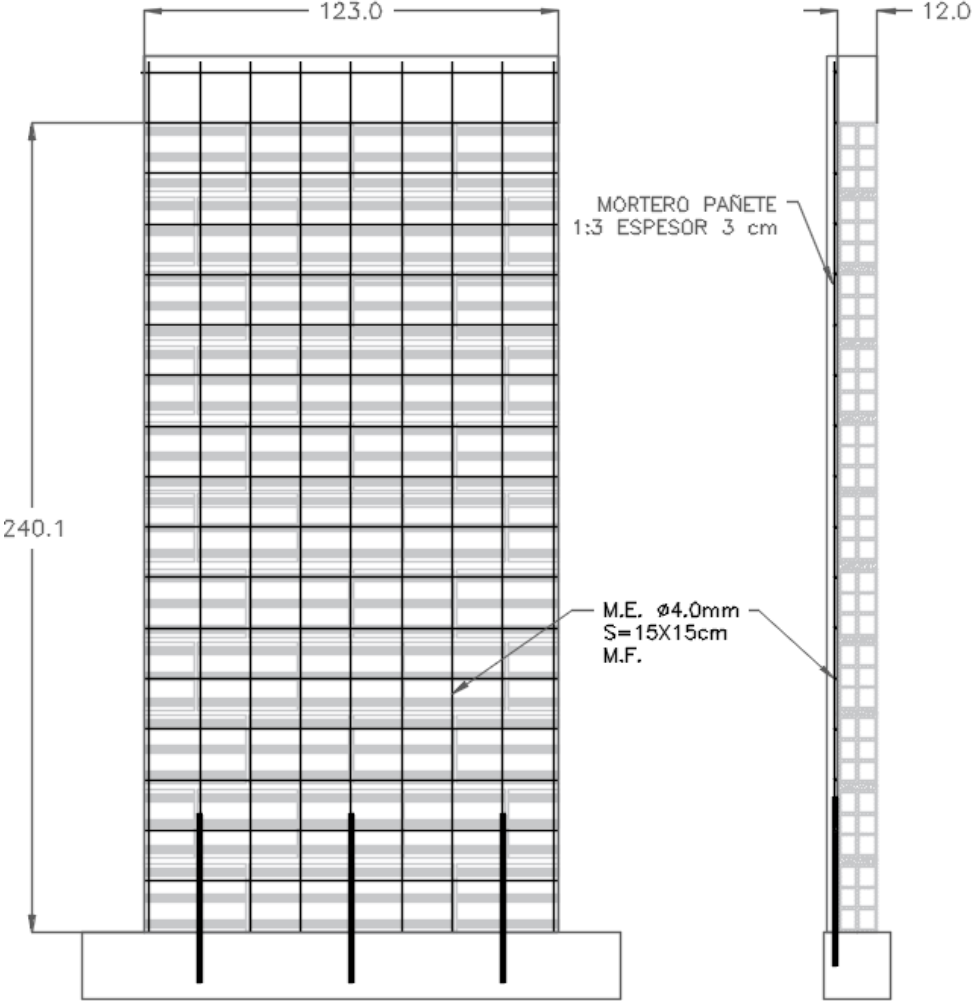


Figura 72. Reforzamiento de muro empleando mortero y malla electrosoldada.

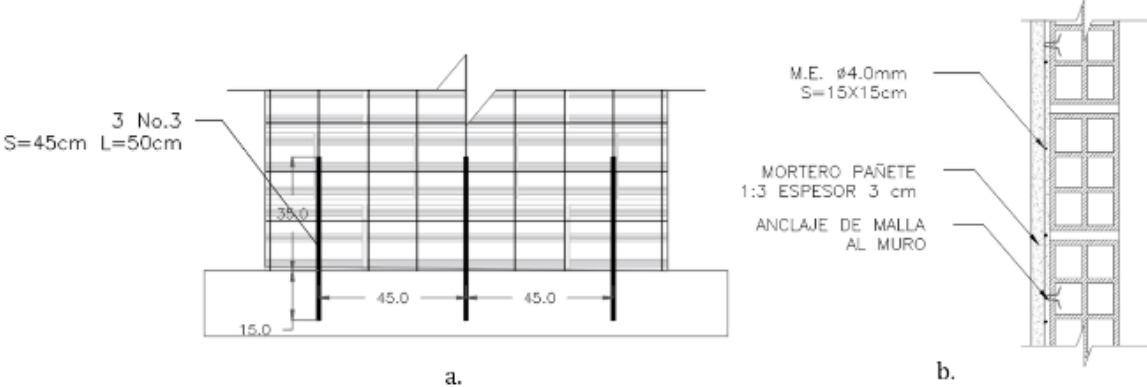


Figura 73. Detalles a. Anclaje de varillas a viga de cimentación; b. Anclaje de malla al muro.



Figura 74. Anclajes para muros reforzados con malla electrosoldada.

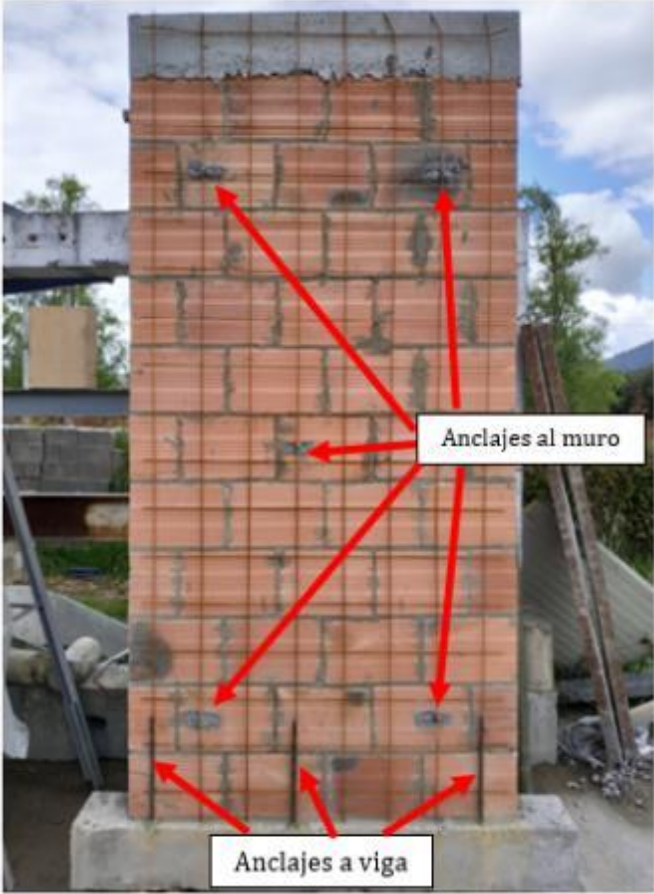


Figura 75. Muro MMP-PD.

Los ensayos de carga lateral cíclica se realizaron en el marco de reacción del laboratorio de estructuras y materiales de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito con el cual se le iba a aplicar una fuerza cíclica a los especímenes mediante un actuador MTS pseudo estático con capacidad de aplicación de carga de 250 kN en tensión y 350 kN en compresión sujetado a una de las columnas y a la viga superior del marco. Para la aplicación de la carga axial en los muros se empleó un sistema compuesto por un gato hidráulico y un carro con rodillos para permitir el desplazamiento lateral del gato con el muro. Debido a que al aplicar la carga horizontal el muro presentaba un giro se colocó un sistema de apoyos a cada lado del gato instrumentados con galgas extensiométricas para poder establecer la carga axial adicional que se generaba en el muro debido al giro mencionado.



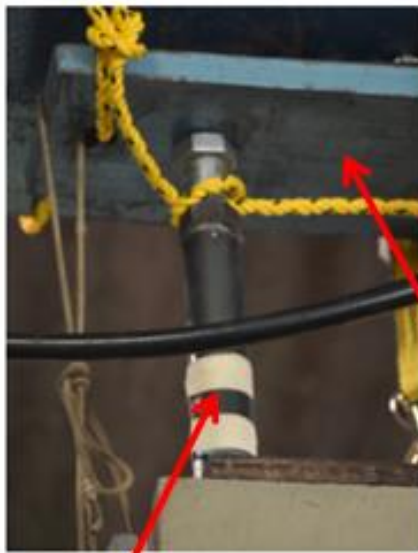
Figura 76. Montaje para ensayo de carga lateral cíclica en muros.





Figura 77. Sistema de aplicación de carga axial.

Debido al riesgo de que a causa del colapso súbito del muro los elementos de la parte superior pudieran causar daños al caer, se empleó un sistema de amarre para sostener el gato, los sistemas de galgas y las platinas colocadas encima de la viga superior del muro el cual sujetaba cada uno de estos elementos a la viga superior del marco para que en caso de caer quedaran suspendidos.



Galga extensiométrica



Platinas de apoyo

Gato hidráulico

Figura 78. Sistema de amarre para elementos superiores del muros.

Tanto los muros como el marco se instrumentaron durante los ensayos con deformímetros longitudinales de 25, 50 y 100 milímetros de carrera de medición conectados al sistema de adquisición de datos VISHAY del laboratorio, ubicados en diferentes puntos del montaje. Se emplearon cinco deformímetros de los cuales cuatro estaban colocados en el muro (dos en las diagonales de las dos caras del muro, uno a la altura del actuador paralelo a la dirección de la aplicación de la carga y uno en la base del muro) y uno en el marco (en la cara exterior de la columna del marco) con el fin de registrar desplazamientos durante el ensayo. El uso del deformímetro ubicado en el marco se requería debido a que durante ensayos de otras investigaciones de podía

apreciar un desplazamiento del marco, de forma que con los datos obtenidos de este sensor se podía aplicar una corrección para obtener el desplazamiento real.

Para que el actuador pudiera aplicar la carga cíclica al muro se colocaba un sistema compuesto por dos barras de acero roscadas que confinaban la viga superior y la primera hilada del muro mediante una platina de acero perforada en el otro lado del muro para así poder garantizar que al desplazarse el actuador el muro también lo haría en la misma proporción. Para evitar el daño de los bloques que quedaban en contacto con la platina de acero se colocaron tablas de madera para evitar la concentración de carga en esos puntos. En la parte inferior se colocaba un sistema compuesto por cuatro barras de acero roscadas y cuatro platinas que sujetaban la viga de cimentación del muro a la viga inferior del marco compuesto. De esta manera se podía asimilar que la cimentación del muro trabajaría de forma rígida y como un empotramiento. Para evitar el deslizamiento del muro en el sentido de la aplicación de la carga se emplearon dos tubos de acero apoyados en las columnas del marco de reacción y mediante un aditamento en forma de cajón de acero apoyado en la viga inferior del muro se restringía el desplazamiento horizontal.

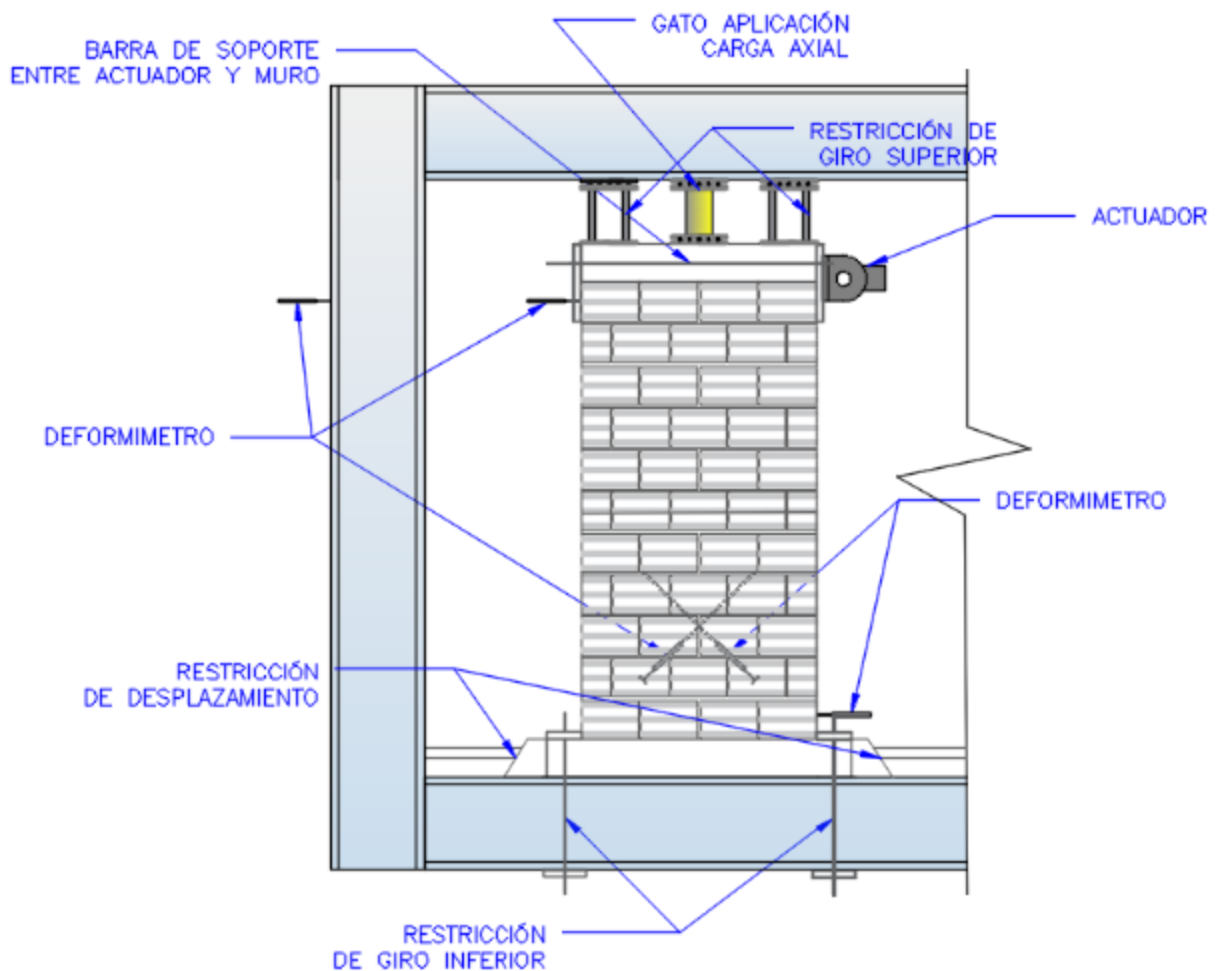


Figura 79. Esquema general de montaje para ensayos de carga lateral cíclica.

Por encima de la mitad del muro se colocaron dos riostras de sección tubular cuadradas de acero una a cada lado del muro apoyados en las dos columnas del marco para que en el caso de que este tratara de volcarse en la dirección perpendicular del plano principal del muro (dirección de aplicación de la carga) estos elementos pudieran contenerlo. Estas riostras no estaban en contacto con el muro debido a que durante el movimiento del ensayo podrían generar fricción y alterar los resultados obtenidos con el sistema de adquisición.



Figura 80. Deformímetros longitudinales.

El primer ensayo de carga lateral se realizó en un muro sin reforzamiento con aplicación de carga axial y carga lateral unidireccional aplicada por el actuador de manera que con los resultados obtenidos se podría establecer hasta que nivel de desplazamiento podrían llevarse los muros mediante un protocolo o historial de carga y definir el número de ciclos necesarios para que los datos obtenidos con el sistema de adquisición mostraran la degradación de rigidez del muro durante la aplicación de la carga cíclica. La aplicación de la carga axial mediante el gato hidráulico se controlaba empleando una celda de carga conectada a un sistema de adquisición de datos independiente del sistema de las galgas y los deformímetros con el cual se establecía una carga axial inicial actuante sobre el muro que en estos ensayos se fijaba en aproximadamente 4 toneladas (Ver anexo de Cargas axiales muro).

Para la definición del protocolo de carga que se emplearía en los ensayos cíclicos se tomó como referencia el FEMA 461, documento que proporciona guías y protocolos de ensayos para determinar las características y comportamiento de componentes sometidos a sismos. El historial de carga se define de manera que se repitan una serie de ciclos que van incrementándose en amplitud de manera que cada valor de amplitud complete dos ciclos. Todos los ensayos se hicieron controlados por desplazamiento.



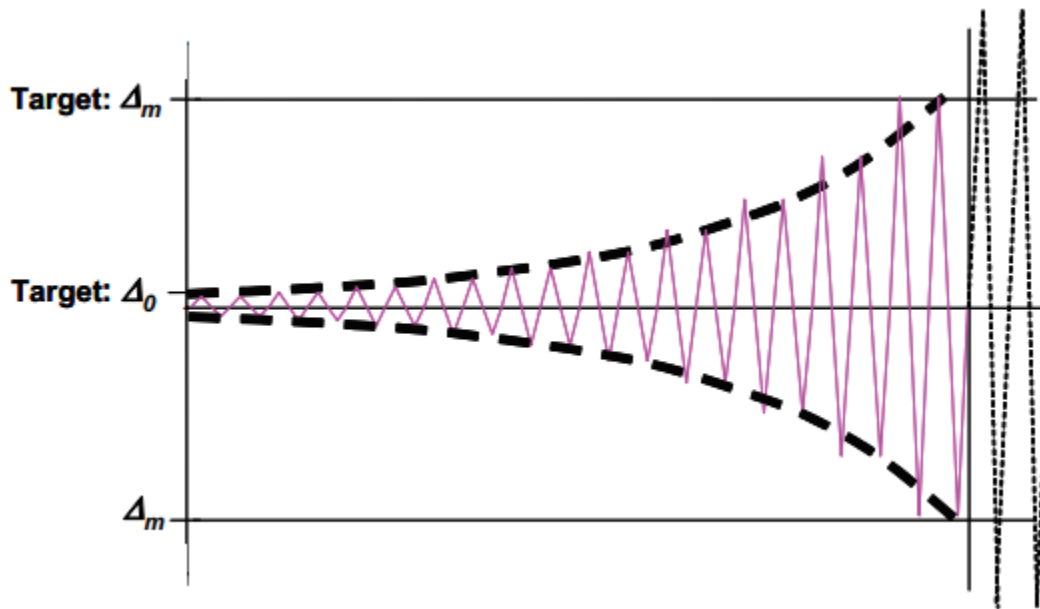


Figura 81. Protocolo de carga controlado por deformación (FEMA461, 2007).

La Figura 88 representa el diagrama de desplazamiento en función del tiempo con el que se define el número de ciclos y la amplitud de cada uno. El valor de  $\Delta_0$  corresponde a la amplitud de deformación más pequeña del protocolo la cual debe ser menor a la deformación observada por primera vez en el estado de daño más bajo. Para este nivel de deformación deben ser ejecutados al menos seis ciclos. En el caso de no contar con datos de un ensayo estático se recomienda trabajar con un valor para  $\Delta_0$  igual a 0,0015. El valor de  $\Delta_m$  corresponde a la amplitud de deformación máxima a la que se espera llegar asociada con un nivel de daño determinado. Si no se alcanza el nivel de daño esperado pueden añadirse ciclos con aumentos en la amplitud de  $0.3 \Delta_m$ . Este valor debe ser definido antes de iniciar el ensayo o estimado mediante el ensayo de carga estática; de igual manera en el caso de no tener datos de ensayos anteriores puede asumirse con valor de  $\Delta_m$  igual a 0,03.

La frecuencia utilizada durante los ensayos cíclicos fue de 0.15 Hz repitiendo los ciclos con un aumento en la amplitud del desplazamiento de manera que se llevaban a cabo 22 pasos de dos ciclos cada uno. La duración de la aplicación de la carga fue de 170 segundos llegando a una amplitud máxima de desplazamiento de 36 milímetros lo cual para la altura del muro era equivalente a una deriva del 2.4%.

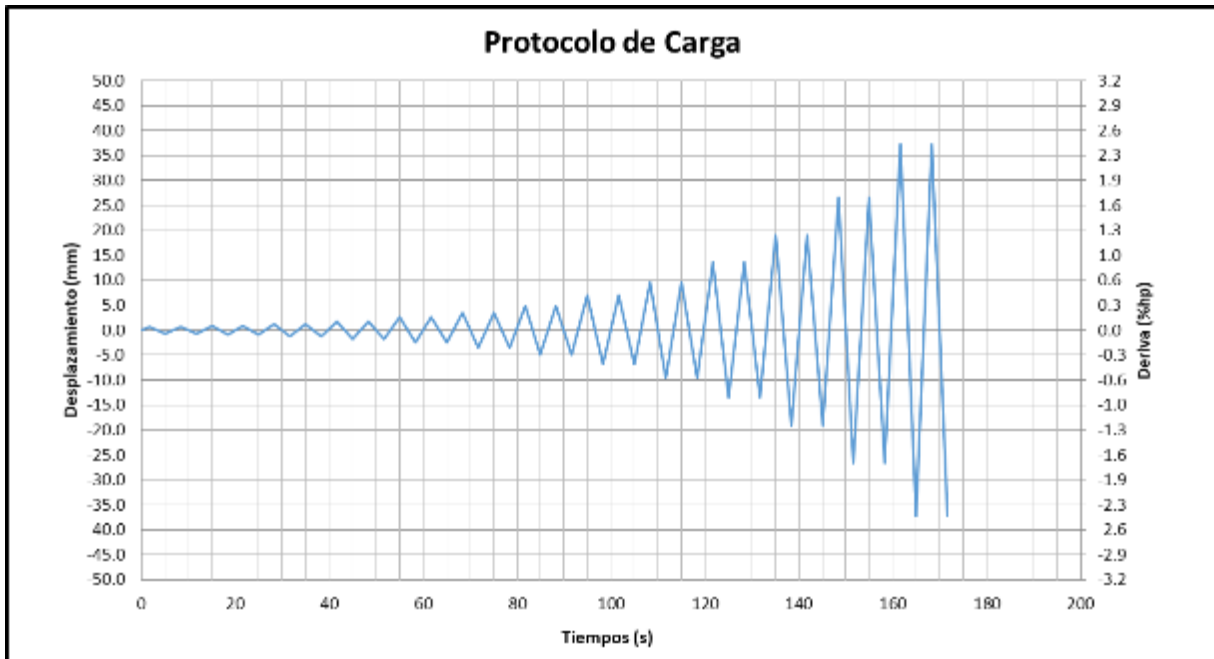


Figura 82. Protocolo de carga empleado en ensayos de carga lateral cíclica.

En cada ensayo de carga lateral cíclica se obtenían los desplazamientos en cada uno de los puntos del montaje donde se instrumentó con los deformímetros, las deformaciones unitarias en los apoyos ubicados en la parte superior del muro y los datos de fuerza y desplazamiento aplicados por el actuador durante el ensayo. Con estos datos se debía realizar la corrección debido a desplazamientos del marco y así obtener las curvas de fuerza contra desplazamiento del muro con las cuales se podría apreciar la degradación de rigidez del muro y la carga máxima. Para el cálculo de la resistencia al corte se tomaban las medidas del muro antes de ser ensayado para poder establecer el área neta y así calcular el esfuerzo cortante actuante en el muro con la carga máxima del actuador.

### 6.1.9 ENSAYOS DE FLEXIÓN FUERA DEL PLANO

Los muros ensayados con carga fuera del plano tenían la misma configuración de los ensayados con carga lateral cíclica y todos contaban con el sistema de reforzamiento de malla y pañete en una cara. Se ensayaron 4 muros en el laboratorio de estructuras y materiales de la Escuela empleando un montaje en el cual se aplicaba carga al muro mediante un gato hidráulico apoyado en el marco de reacción principal que transmitía la carga por medio de una H rotada 90 grados formada por perfiles tubulares soldados como se muestra en el siguiente esquema.

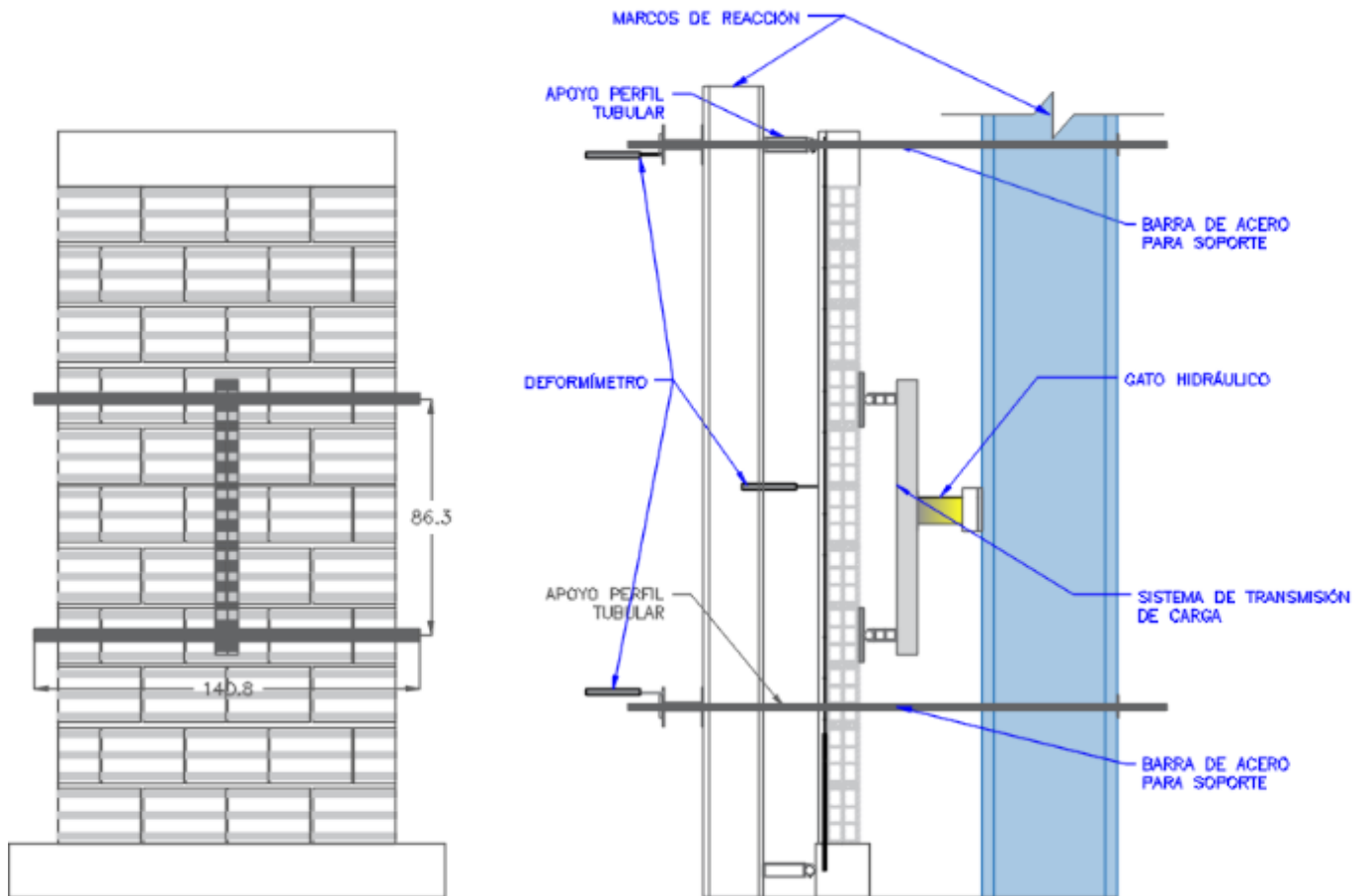


Figura 83. Esquema general de montaje para ensayos de flexión fuera del plano.

La instrumentación de este tipo de ensayos consistía en tres deformímetros longitudinales, de los cuales dos estaban ubicados en los puntos de soporte del muro y el otro ubicado a media altura sobre la cara reforzada del muro en la línea de acción de la carga aplicada. Para la medición de la fuerza generada por el gato se empleó una celda de carga colocada entre el gato hidráulico y el marco de reacción, la cual estaba conectada a un sistema de adquisición de datos con el que se registró la variación de carga durante el ensayo. Debido a que este tipo de solicitaciones en muros se da principalmente en viviendas que ubicadas en zonas de ladera y suelen usarse como muros de contención dentro de la vivienda el muro se ubicó para el ensayo de manera que la fuerza actuara en el lado que no contaba con reforzamiento simulando el caso que se presentaría en una edificación sometida a presión de tierras por la ladera.

El ensayo consistió en aplicar ciclos de carga y descarga con amplitudes incrementales desde el 25% de la capacidad teórica, aumentando en la misma proporción hasta el 100%. Esta carga se estimó en 1030 kilogramos (Ver anexo Ensayo flexión fuera del plano). Una vez alcanzado el 100% se siguieron aplicando ciclos hasta la falla. Durante los ensayos se iban marcando las fisuras producidas por la flexión en la cara reforzada del muro según el ciclo en el que estas aparecían para poder establecer un patrón de fisuración completo del muro.



Figura 84. Montaje para ensayo de flexión fuera del plano.

De los ensayos realizados de flexión fuera del plano se obtenían los datos de desplazamiento en los puntos donde se ubicaron los deformímetros y la variación de la carga aplicada al muro. El desplazamiento obtenido por el sensor a la mitad de la altura del muro debía corregirse debido a que en el marco se presentaban desplazamientos laterales los cuales se obtenían con los otros dos deformímetros. A partir de estos datos obtenidos se construyeron las gráficas de fuerza contra desplazamiento.

## 7. RESUMEN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presentan el resumen y análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio. Los datos de todos los ensayos se encuentran en los anexos del presente documento.

### 7.1 DESAGREGACIÓN DE MUESTRAS DE MORTERO EXISTENTE

Con los datos obtenidos de peso de arena restante del procedimiento de desagregación se estableció la relación cemento: arena de las muestras de mortero estudiadas encontrando que variaban entre 1:3 y 1:3.6.

MUESTRA	DOSIFICACIÓN		
	A	CEMENTO	0.2354
ARENA		0.7646	3.2
B	CEMENTO	0.2160	1
	ARENA	0.7840	3.6
C	CEMENTO	0.25167	1
	ARENA	0.74833	3.0

Tabla 12. Resultados disgregación de morteros.

Con base en los resultados obtenidos se estableció que la mezcla de mortero de pega que se debía emplear en la construcción de los muros y muretes debía tener una dosificación de 1:3 para poder tener condiciones similares a las que se pueden encontrar en muros de viviendas existentes.

### 7.2 COMPRESIÓN DE CILINDROS DE MORTERO

En la tabla 14 se presentan los valores característicos obtenidos del análisis estadístico de los datos de resistencia a compresión del mortero de pega empleado en la construcción de los muros, obteniendo una resistencia a los 28 días de  $f'c = 12.70$  MPa (129.5 kg/cm<sup>2</sup>).

Edad mortero [días]	Promedio		Desv. Estándar	Coef de variación	Muestras	V. Característico	
	[MPa]	[kg/cm <sup>2</sup> ]				[MPa]	[kg/cm <sup>2</sup> ]
7	6.71	68.41	1.17	0.17	9	4.28	43.59
14	8.86	90.32	1.56	0.18	11	5.48	55.88
28	13.96	142.31	1.09	0.01	9	12.70	129.53

Tabla 13. Resultados ensayos de compresión mortero de pega.

En la tabla 15 se presentan los valores característicos obtenidos del análisis estadístico de los datos de resistencia a compresión del mortero de pañete empleado en el reforzamiento de los muros, obteniendo una resistencia a los 28 días de  $f'c = 11.13$  MPa (113.6 kg/cm<sup>2</sup>).

Edad mortero [días]	Promedio		Desv. Estándar	Coef de variación	Muestras	V. Característico	
	[MPa]	[kg/cm2]				[MPa]	[kg/cm2]
7	7.36	75.06	3.58	0.05	16	6.74	68.75
14	9.69	98.87	4.26	0.04	16	8.91	90.87
28	12.88	131.35	7.64	0.06	16	11.13	113.55

Tabla 14. Resultados ensayos de compresión mortero de pañete.

### 7.3 ABSORCIÓN EN UNIDADES DE MAMPOSTERÍA

El análisis estadístico de los resultados de ensayos de absorción en unidades de mampostería se presenta en la tabla 16. Se encontró que estas unidades presentan un porcentaje de absorción del 10% como valor característico.

<b>Promedio [%]</b>	11.0%
<b>Desv estándar</b>	0.004
<b>Coef de variación</b>	0.03
<b>Muestras</b>	5
<b>V. Característico [%]</b>	10.1%

Tabla 15. Resultados ensayo de absorción en unidades de mampostería.

### 7.4 COMPRESIÓN EN UNIDADES DE MAMPOSTERÍA

En la tabla 17 se presenta el análisis estadístico de resultados de ensayos de compresión en unidades de mampostería. El modo de falla de los bloques se daba con rotura en los tabiques interiores del bloque y fisuración en las esquinas de las caras que recibían la carga. Esta falla se presentaba de forma súbita y frágil debido al aplastamiento del bloque.

<b>Promedio [MPa]</b>	3.38
<b>Desv estándar</b>	0.545
<b>Coef de variación</b>	0.161
<b>Muestras</b>	5
<b>V. Característico [MPa]</b>	2.48

Tabla 16. Resultados de ensayo de compresión en unidades de mampostería-



Figura 85. Falla de unidad de mampostería por compresión axial.

El valor promedio de resistencia a la compresión de las unidades de mampostería fue de 3.38 MPa y 2.48 MPa el valor característico. Este valor es mayor a la resistencia a la compresión especificada en el manual de 2.0 MPa, de manera que se puede establecer que este valor se emplea de forma conservadora. En ensayos realizados en unidades de mampostería extraídas de muros existentes se encontró que la resistencia es mayor por un valor de casi el doble; sin embargo, no son directamente comparables ya que algunas de las unidades ensayadas contaban con una cara parcialmente cubierta con mortero de pega.

## 7.5 COMPRESIÓN DE MURETES

En la tabla 18 se presentan los valores de  $f'm$  obtenidos en los ensayos de compresión de muretes y el análisis estadístico de los resultados.

Resistencia a la compresión $f'm$			
Murete	$f'm$ (MPa)	Valores estadísticos	
MT1	1.67	Promedio (MPa)	1.709
MT2	1.88	s (MPa)	0.207
MT3	1.38	C.V. (%)	0.121
MT4	1.90	Valor característico (MPa)	1.194

Tabla 17. Resultados de resistencia a la compresión en muretes de mampostería.

El tipo de falla en estos ensayos era frágil y se presentaba debido a fallas por estabilidad en el murete debido a que los tabiques interiores de los bloques y las paredes externas fallaban de manera súbita sin presentar un patrón de fisuración antes. El valor promedio obtenido de la resistencia a la compresión en la mampostería fue de 1.709 MPa (1709 kPa) y 1.194 MPa (1194 kPa) de valor característico. Al comparar este resultado con el valor empleado en el manual para la resistencia a la compresión de la

mampostería que corresponde a 1.1 MPa se encuentra que el valor experimental es cercano, mayor en sólo un 8%.

Módulo de elasticidad			
Murete	E (MPa)	Valores estadísticos	
MT1	3122.89	Promedio (MPa)	2518
MT2	1795.66	s (MPa)	573
MT3	2119.24	C.V. (%)	0.227
MT4	3033.36	Valor característico (MPa)	1278

Tabla 18. Resultados de módulo de elasticidad en muretes de mampostería.

En la tabla 19 se presentan los valores obtenidos para el módulo de elasticidad de la mampostería no reforzada. Este valor se determinó como la pendiente de la curva Esfuerzo vs. Deformación unitaria entre los valores de  $0.05f_m$  y  $0.33f_m$ , tal como lo establece la norma NTC 3495. El valor promedio del módulo de elasticidad obtenido fue de 2518 MPa y el valor característico de 1278 MPa.

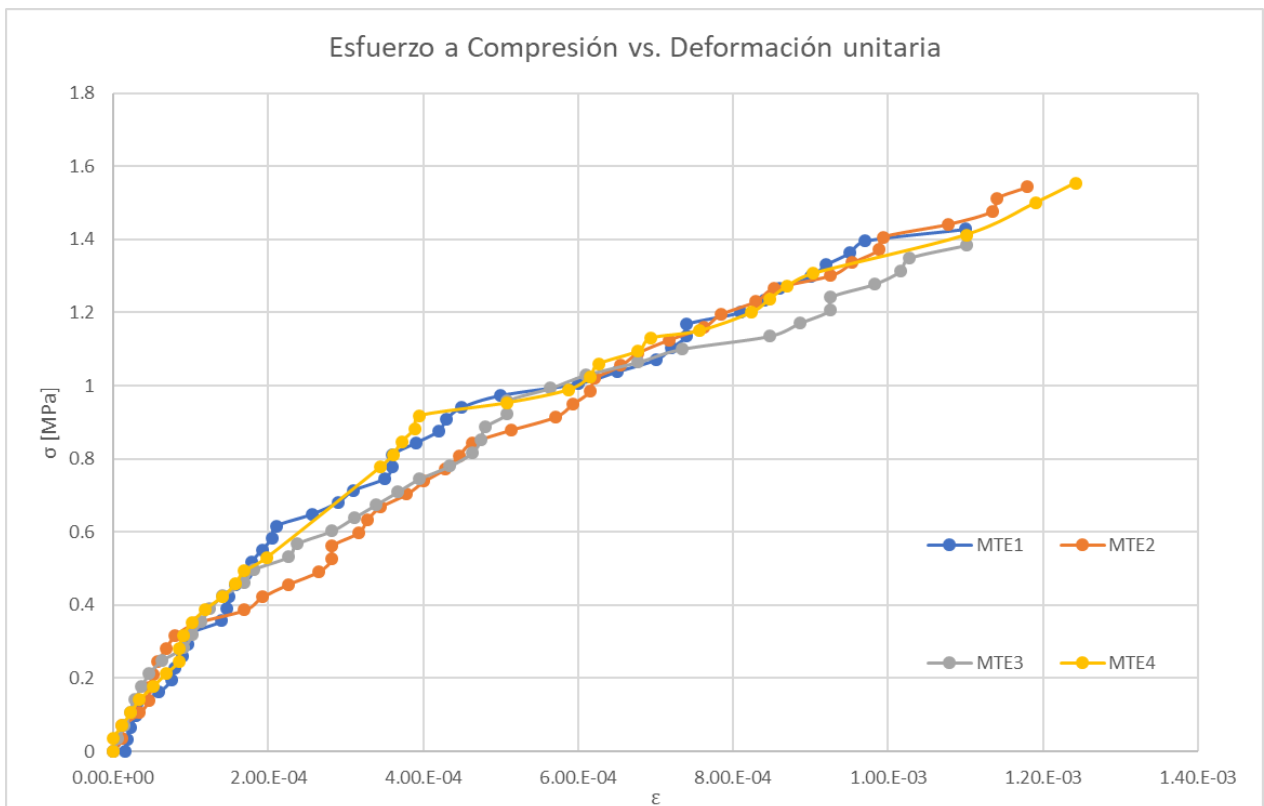


Figura 86. Gráfica de Esfuerzo a compresión vs. Deformación unitaria de ensayos en muretes de mampostería.

Al comparar estos valores con los valores teóricos obtenidos empleando las ecuaciones del título D del Reglamento se encuentra que el valor del módulo de elasticidad experimental alcanza a ser un 30% mayor que el valor obtenido teóricamente.



$$E_{TEÓRICO} = 750 * f'm = 896 \text{ MPa}$$

$$E_{EXPERIMENTAL} = 1278 \text{ MPa}$$

$$\% \text{ Variación} = 1 - \frac{895.5}{1277.83} = 0.3 \rightarrow 30\%$$

En los anexos se presentan los cálculos realizados para el cálculo de la resistencia a la compresión de la mampostería  $f'm$  y el módulo de elasticidad.



Figura 87. Ensayos de compresión en muretes de mampostería.

## 7.6 COMPRESIÓN DIAGONAL

Se ensayaron 10 especímenes de los cuales cinco correspondían a muretes construidos con pega vertical y los cinco restantes sin ella. Los datos del espécimen MTE4 PHV no se consideraron debido a que presentaba valores muy superiores en comparación de los demás ensayos de compresión diagonal realizados y el análisis estadístico presentaba un coeficiente de variación muy alto. En cuanto al espécimen MTE1 SPV, se presentó una falla en el sistema de adquisición de datos que impidió el correcto registro de los mismos.

La falla en los muretes se presentaba de manera gradual debido a que al iniciar el proceso de carga en los extremos diagonales el sistema de aplicación se acomodaba para transmitir la carga a la mampostería y al final se daba una falla diagonal. En algunos casos se presentaban pequeñas fisuras por aplastamiento en los bloques de las esquinas a pesar de que se encontraban rellenos de mortero en sus cavidades, pero el sistema de adquisición de datos mostraba que la carga aplicada en el ensayo seguía aumentando.

La falla global del murete se presentaba de manera frágil pero no se perdía la integridad al presentarse la rotura en algunas unidades de mampostería y presentaba un patrón

de fisuración escalonado que recorría toda la diagonal entre los bloques de las esquinas que soportaban la carga. Las fallas en los bloques solo se presentaban en algunas unidades cercanas a las zonas de aplicación de la carga ya que en el centro del murete solo se apreciaba la fisuración del mortero de pega. La estabilidad del murete se veía comprometida en algunos de los ensayos ya que no existía continuidad entre los bloques y el mortero de pega por la fisuración mencionada.



Figura 88. Falla global de murete por compresión diagonal.



Figura 89. Rotura de unidad de mampostería por compresión diagonal.



Figura 90. Rotura de unidad de mampostería y fisuración de mortero de pega por compresión diagonal.

En la tabla 20 se presentan los valores obtenidos de los ensayos de compresión diagonal para muretes con y sin pega vertical. Para los muretes con pega vertical se encontró un valor promedio de resistencia al corte de 0.321 MPa (321 kPa) y un valor característico de 0.213 MPa (213 kPa); para el caso de los muretes sin pega vertical se obtuvo un valor promedio de 0.284 MPa (284 kPa) y un valor característico de 0.211 MPa (211 kPa). Al comparar los resultados de ambas tipologías de construcción se encontró que el valor característico de la resistencia al corte es muy similar con una variación de apenas el 1%.

Al comparar los valores anteriores con la resistencia al corte especificada en el Manual para la mampostería no reforzada, se encuentra que son muy similares: en el Manual 0.21 MPa (210 kPa) y el experimental es 0.217 MPa (217 kPa). Se debe aclarar que el valor establecido en el manual corresponde a cálculos realizados con base en las propiedades de muros construidos con bloque No. 4 y los ensayos se realizaron en muros construidos con bloque No. 5. En los anexos del presente documento de presentan los cálculos y gráficos de esfuerzo cortante vs deformación angular de los muretes ensayados por compresión diagonal.

CON PEGA VERTICAL			
Murete	$\tau$ máx. (MPa)	Valores estadísticos	
MT1	0.2576	Promedio (MPa)	0.321
MT2	0.35183	s (MPa)	0.052
MT3	0.35267	C.V. (%)	0.161
MT5	0.3998	Valor característico (MPa)	0.213
SIN PEGA VERTICAL			
Murete	$\tau$ máx. (MPa)	Valores estadísticos	
MT2	0.27942	Promedio (MPa)	0.284
MT3	0.23138	s (MPa)	0.035
MT4	0.32736	C.V. (%)	0.122
MT5	0.29633	Valor característico (MPa)	0.211

Tabla 19. Resultados de resistencia al corte por compresión diagonal en muretes de mampostería.

<b>Promedio [MPa]</b>	0.31
<b>Desv estándar</b>	0.052
<b>Coef de variación</b>	0.168
<b>Muestras</b>	8
<b>V. Característico [MPa]</b>	0.217

Tabla 20. Valores estadísticos de resistencia al corte por compresión diagonal.

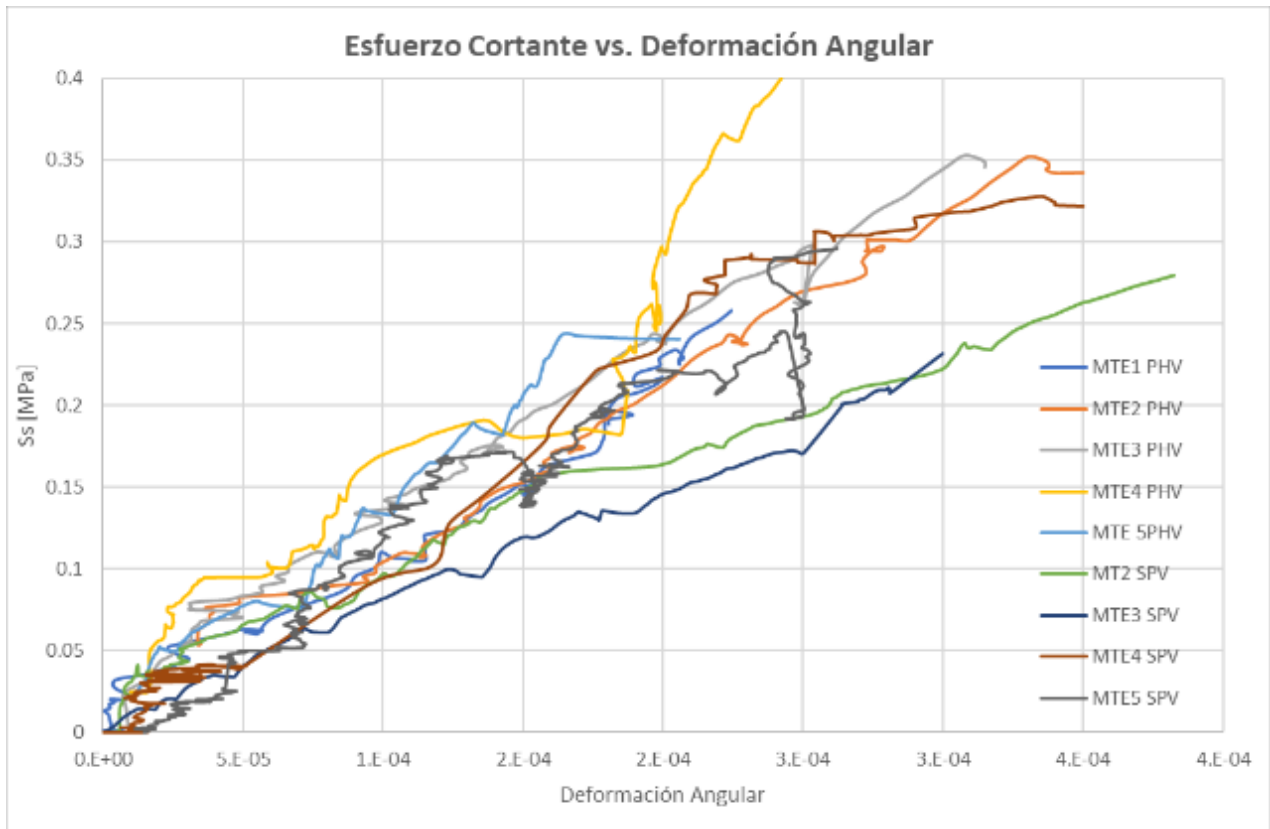


Figura 91. Gráfica de Esfuerzo cortante vs. Deformación angular de ensayos de compresión diagonal en muretes de mampostería.

En la tabla 21 se presentan los valores obtenidos del módulo de corte de los ensayos de compresión diagonal para los muretes con y sin pega vertical. En la comparación de los resultados obtenidos se encontró que los muros que contaban con pega vertical presentan un valor de módulo de corte mayor tanto en el promedio como en el valor característico. Esto se da debido a que al contar con el material del mortero entre las unidades se mejora la capacidad de deformación del muro al verse sometido a cargas de corte en el plano.

CON PEGA VERTICAL			
Murete	G (MPa)	Valores estadísticos	
MT1	1047.45	Promedio (MPa)	1486.1
MT2	1362	s (MPa)	362
MT3	2048.84	C.V. (%)	0.244
MT5	1512	Valor característico (MPa)	734
SIN PEGA VERTICAL			
Murete	G (MPa)	Valores estadísticos	
MT2	991.03	Promedio (MPa)	1090
MT3	825.54	s (MPa)	204
MT4	1171.82	C.V. (%)	0.187
MT5	1372	Valor característico (MPa)	673

Tabla 21. Resultados de módulo de cortante en muretes de mampostería.

Al comparar estos valores con los teóricos obtenidos con el título D del Reglamento se encuentra que el módulo de corte experimental alcanza a ser un 30% mayor que el valor obtenido teóricamente.

$$G_{TEÓRICO} = 0.4 * E = 511 \text{ MPa}$$

$$G_{EXPERIMENTAL} = 732 \text{ MPa}$$

$$\% \text{ Variación} = 1 - \frac{511.13}{732.17} = 0.3 \rightarrow 30\%$$

## 7.7 CARGA LATERAL CÍCLICA

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en muros a escala real ensayados por carga lateral cíclica.

### 7.7.1 ENSAYO ESTÁTICO

Para obtener la curva de fuerza vs deriva se tuvieron que aplicar correcciones en los desplazamientos obtenidos mediante el sistema de adquisición de datos debidos al desplazamiento en la base del muro y desplazamientos del marco de reacción.

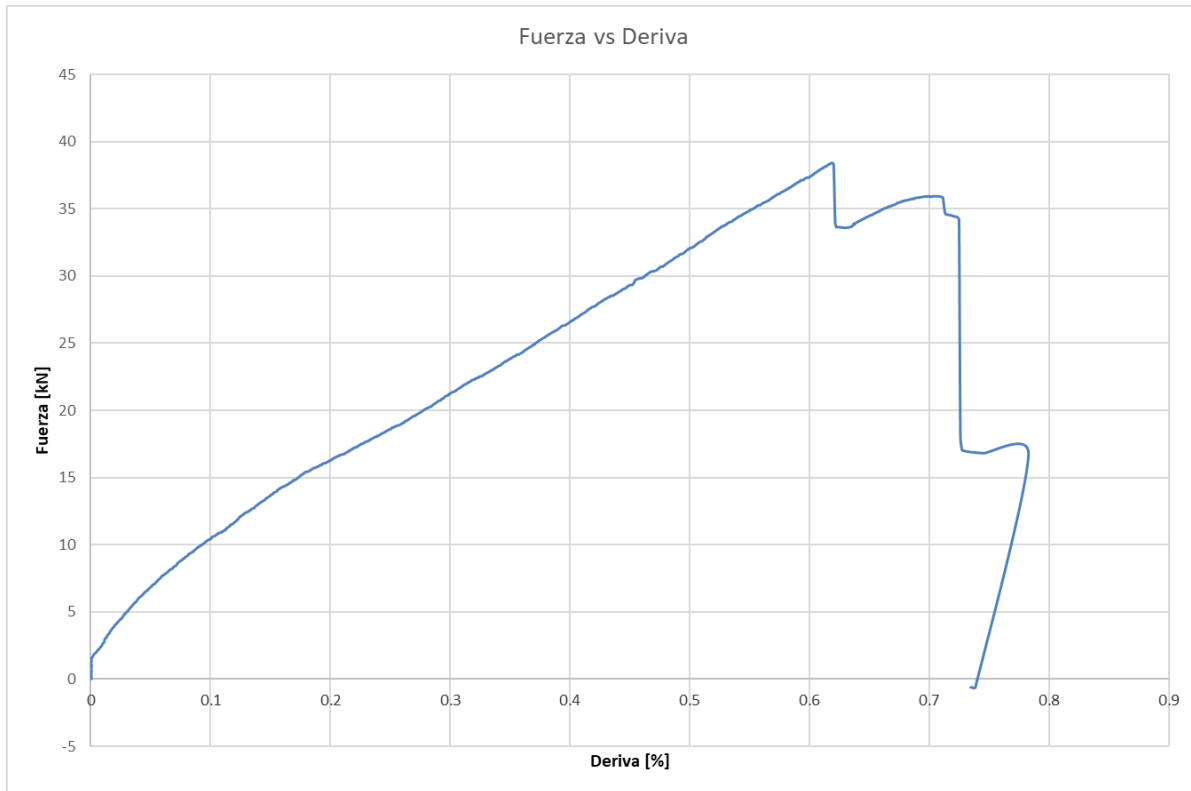


Figura 92. Curva de Fuerza vs. Deriva obtenida en ensayo de carga lateral estática de muro MC1.

Durante el ensayo del muro se observó que no se presentó una fisuración en el mortero de pega que une la viga de cimentación con la primera hilada de unidades debido a la presencia de la carga axial aplicada en la parte superior del muro. La falla fue local en la zona inferior derecha del muro cuando el desplazamiento del actuador iba en 38 milímetros y se dio debido a esfuerzos de compresión en las unidades, de manera que las caras exteriores de los bloques presentaron rotura y quedó destapado viéndose solamente el tabique interior de los bloques. En el bloque inferior izquierdo se presentó de forma progresiva con el aumento del desplazamiento una fisura horizontal la cual apareció cuando el desplazamiento era de 7 milímetros y fue prolongándose hasta cruzar toda la unidad. Durante el ensayo no se presentó un daño global en el muro, sino que las fallas observadas fueron locales.

Espécimen	MC1 S#1 - PH#5		
Tipo ensayo	Estático	Dimensiones	
F máx [kN]	39.079	Altura [mm]	2420
$\Delta$ máx [%]	0.783	Ancho [mm]	1240
A bruta [mm <sup>2</sup> ]	148800	Espesor [mm]	120
A neta [mm <sup>2</sup> ]	59520	Carga axial [ton]	4.021
$\tau$ máx [MPa]	0.657	$\delta$ max actuador [mm]	40

Tabla 22. Datos de ensayo de carga lateral estática.

El esfuerzo a cortante máximo obtenido de los datos del ensayo fue de 0.657 MPa (657 kPa) calculado sobre el área neta del muro. Con base en la curva obtenida se definió el



protocolo de carga que se emplearía en los ensayos de carga lateral cíclica sabiendo que la fuerza máxima que soportó el muro fue de 39 kN y una deriva del 0.783%.



Figura 93. Ensayo de carga lateral estática - Muro MC1.

### 7.7.2 ENSAYOS CÍCLICOS

Los resultados presentados en la figura 103 corresponden a las curvas histeréticas de fuerza contra deriva obtenidas para los muros que no contaban con ningún tipo de reforzamiento y se comparan con los resultados del ensayo estático (MC1 S). Durante el ensayo del muro MC1 PD se presentó el colapso total del espécimen debido a que las unidades de mampostería ubicadas en la esquina inferior izquierda fallaron por compresión generando una pérdida en la estabilidad del muro mientras que el actuador seguía en movimiento. Debido a esta falla explosiva en el ensayo se tomó la decisión de realizar un sistema de amarre a todos los elementos del montaje ubicados por encima del muro incluyendo la viga de concreto.

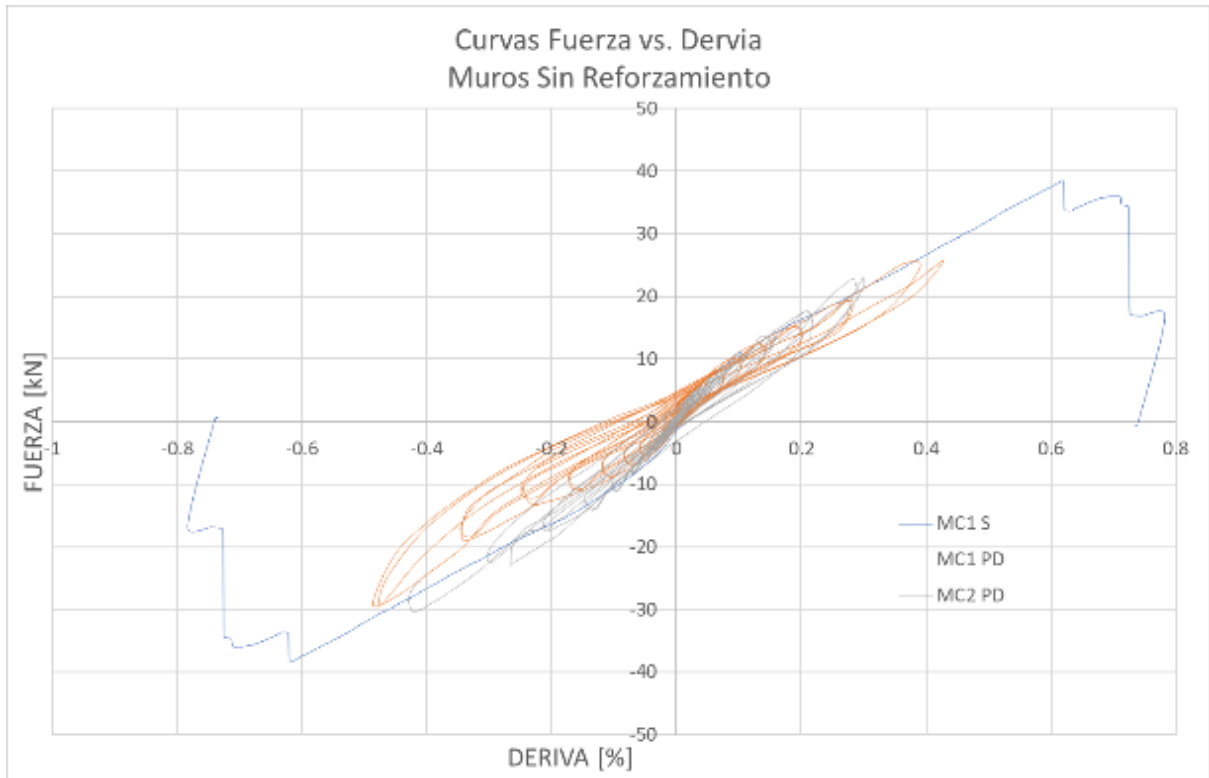


Figura 94. Curvas de Fuerza vs. Deriva de ensayos de muros sin reforzamiento.

Para obtener las curvas histeréticas de los ensayos se debían sincronizar los tiempos de inicio de adquisición de datos del equipo VISHAY y el equipo del actuador, esto mediante el historial de desplazamientos obtenido de cada uno como se muestra en la siguiente figura.

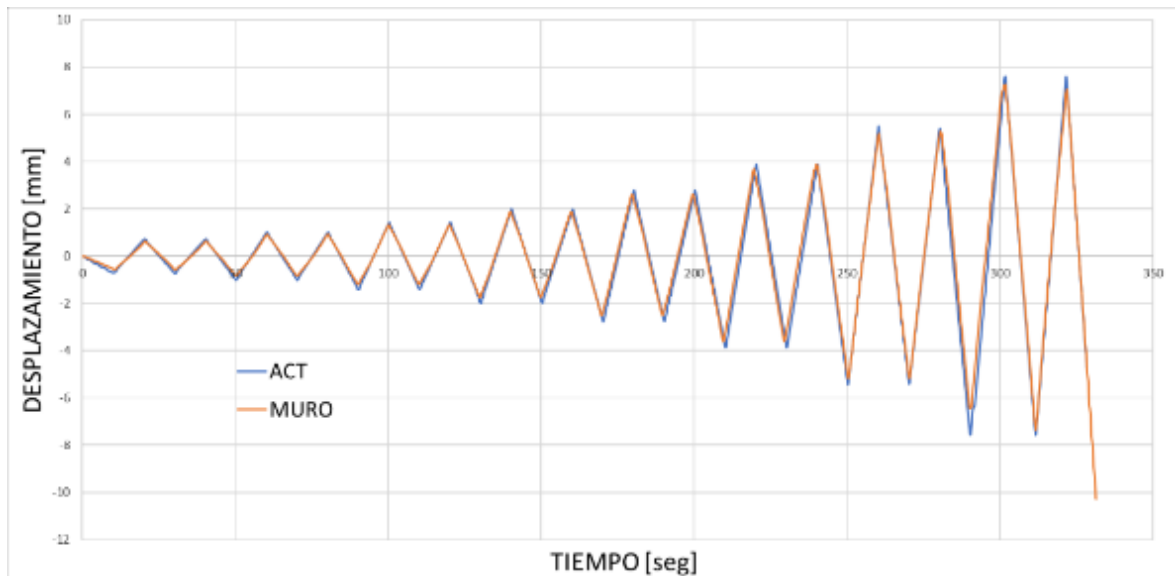


Figura 95. Historial de desplazamientos del actuador y muro en función del tiempo muro MC2 PD.





Figura 96. Falla de muro MC1 PD por rotura en zona inferior.

El tipo de falla que se observó se dio de forma local en la parte superior del muro en el lado opuesto a la ubicación de la cabeza del actuador. Las unidades afectadas sufrieron una rotura en las paredes externas y algunas en los tabiques interiores. Al desarmar el montaje del muro la viga superior se desprendió del resto del muro debido a que la única conexión entre estos era por fricción entre los bloques y el concreto. En la tabla 23 se presentan los resultados obtenidos de esfuerzo cortante de los ensayos en muros sin reforzamiento.

Probeta	Dimensiones		P máx. [kN]	$\tau$ máx. [MPa]	P prom [kN]	$\tau$ prom [MPa]
	B [m]	H [m]				
MNR1	1.24	2.42	31	0.998	30.6	0.985
MNR2	1.24	2.42	30.2	0.972		

Tabla 23. Resultados de ensayos de carga lateral cíclica en muros sin refuerzo.



Figura 97. Falla por rotura de bloques en muro MC2 PD.

A continuación, se presentan las curvas histeréticas de Fuerza vs. Deriva obtenidas en los ensayos de muros reforzados con malla y pañete. El procedimiento de ensayo y manejo de datos para estos muros pañete fue el mismo empleado en los ensayos de muros sin reforzamiento.

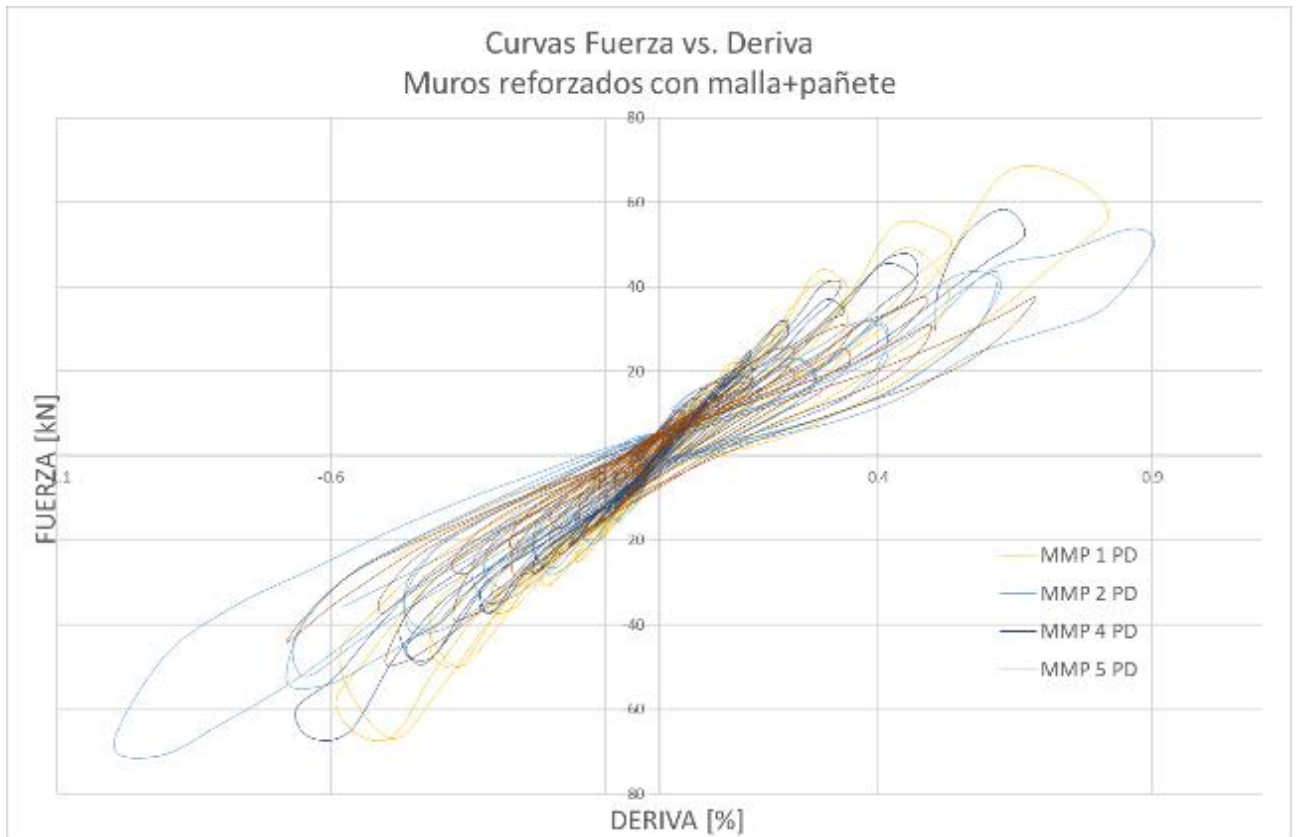


Figura 98. Curvas de Fuerza vs. Deriva de ensayos de muros reforzados con malla y pañete.



Figura 99. Fisuración en pañete de refuerzo en zona inferior del muro; rotura por compresión en unidad de mampostería - MMP4 PD.

El tipo de falla que se presentó en los muros reforzados con malla y pañete se daba principalmente en el lado que no contaba con reforzamiento, generando roturas en las unidades de mampostería ubicadas en la primera y última hilada del muro. El pañete presentaba patrones de fisuración en la zona cercana al tercio de la altura con fisuras de un tamaño entre 0.8 y 1.0 milímetro de abertura. Debido a que este sistema de reforzamiento contaba con anclajes que conectaban la malla a la viga de cimentación y en la parte superior la malla se sobreponía sobre la viga el muro no se presentó una separación entre los elementos que lo componían, generando un comportamiento monolítico como es de esperarse. En algunas unidades se pudo encontrar que se presentaban pequeñas fisuras de aproximadamente 0.4 milímetros que se alargaban a lo largo del mortero de pega entre las hiladas.



Figura 100. Fisuración en unidades de mampostería; fisuración en pañete de refuerzo en zona superior – MMP2 PD.

En la tabla 24 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de carga lateral cíclica realizados en muros con reforzamiento de malla y pañete en una cara. Al comparar la carga máxima promedio soportada por los muros reforzados con los resultados de los muros no reforzados se ve que esta aumentó en un 56% generando una mejora en la capacidad del muro. Al comparar las curvas histeréticas se encuentra que al reforzar los muros la capacidad de deformación también aumenta debido a que el reforzamiento de la malla le aporta ductilidad al muro a comparación de los no reforzados.

Probeta	Dimensiones		P máx. [kN]	$\tau$ máx. [MPa]	P prom [kN]	$\tau$ prom [MPa]
	B [m]	H [m]				
MMP1	1.23	2.4	76.5	1.024	70.325	0.930
MMP2	1.24	2.42	70.9	0.911		
MMP3	1.23	2.4	58.27	0.729		
MMP4	1.24	2.42	66.5	0.892		
MMP5	1.24	2.42	67.4	0.891		

Tabla 24. Resultados de ensayos de carga lateral cíclica en muros reforzados con malla y pañete en una cara.

Los resultados del muro MMP3 no se consideraron en los cálculos debido a que durante el ensayo se presentaron inconvenientes con el protocolo de carga aplicado por el actuador y se tuvo que reiniciar el ensayo, dando resultados que no se consideran confiables para la evaluación de las propiedades del muro. En cuanto al cálculo del esfuerzo cortante promedio se muestra que no hay un aumento importante al comparar los muros reforzados con los muros sin refuerzo; esto se da debido a que al reforzar el muro con el mortero de pañete se está incrementando el área neta, razón por la cual el esfuerzo cortante no presenta una mejora como si la capacidad de carga.

En la siguiente gráfica se presentan las curvas histeréticas de fuerza vs. Deriva correspondientes a ensayos de muros reforzados con pañete en una cara.

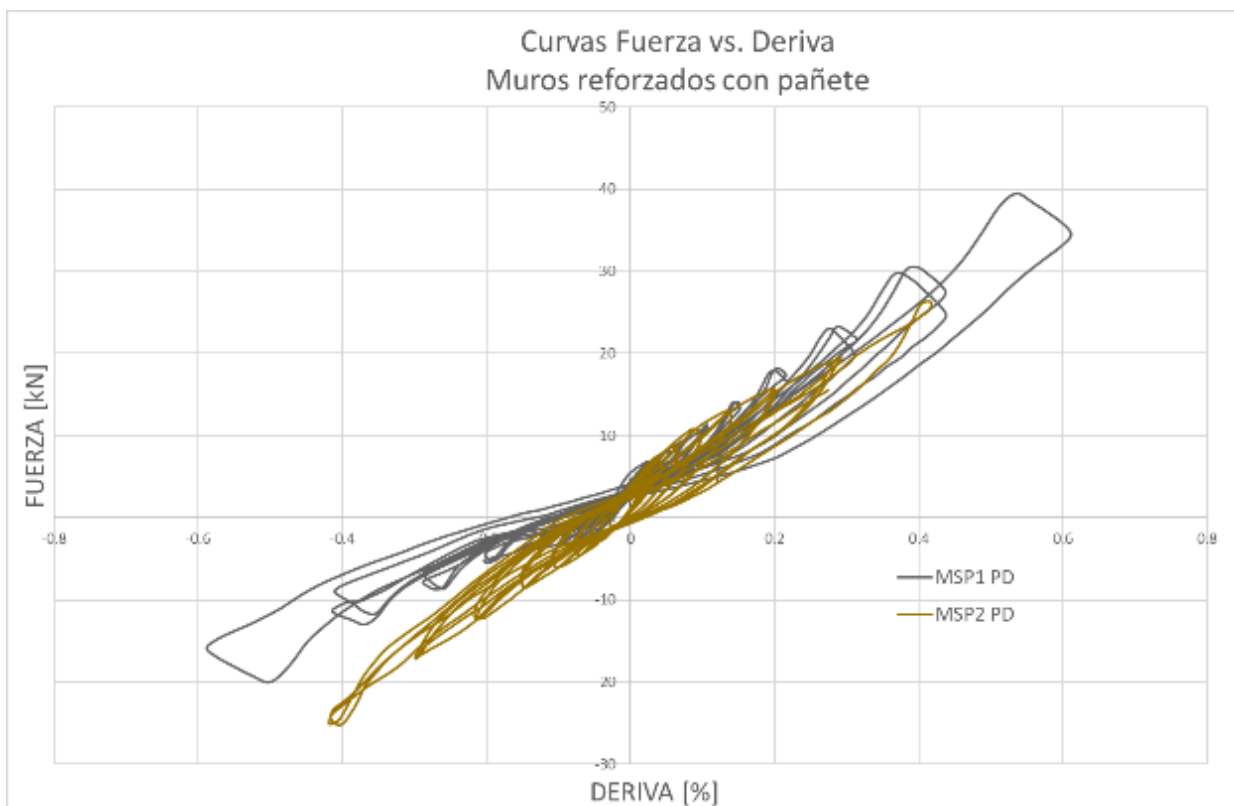


Figura 101. Curvas de Fuerza vs. Deriva de ensayos de muros reforzados pañete en una cara.

El tipo de falla en estos muros se presentaba principalmente en la zona inferior debido a que al no tener un sistema de anclajes que garanticen la unión del muro a la viga de cimentación solo el mortero de pega genera la continuidad del sistema; de esta forma al aplicarse la carga lateral el muro se separa de la base a pesar de contar con la carga axial aplicada por el gato y su comportamiento es similar a tener un muro apoyado en una articulación. Al no tener restricción al giro en la base se generan esfuerzos de compresión que producen aplastamiento tanto en el mortero de pañete como en las unidades de la primera hilada.

Probeta	Dimensiones		P máx.	$\tau$ máx.	P prom	$\tau$ prom
	B [m]	H [m]	[kN]	[MPa]	[kN]	[MPa]
MSP 1	1.24	2.42	34.8	0.489	35.7	0.502
MSP2	1.24	2.42	36.6	0.514		

Tabla 25. Resultados de ensayos de carga lateral cíclica en muros reforzados con pañete.

Para este tipo de reforzamiento no se presentó un aumento en la capacidad de carga lateral significativo a comparación de los muros reforzados con malla y pañete en una cara, pero si hubo un aumento en la capacidad de deformación del muro al compararlo con los especímenes no reforzados. El esfuerzo cortante no tuvo una mejora significativa debido al aumento del área neta del muro. Se destaca que el mortero de pañete ayuda a mantener la integridad del muro en el lado que se encuentra reforzado pues solo se observan fisuras y no se presentan fallas explosivas durante los ensayos.

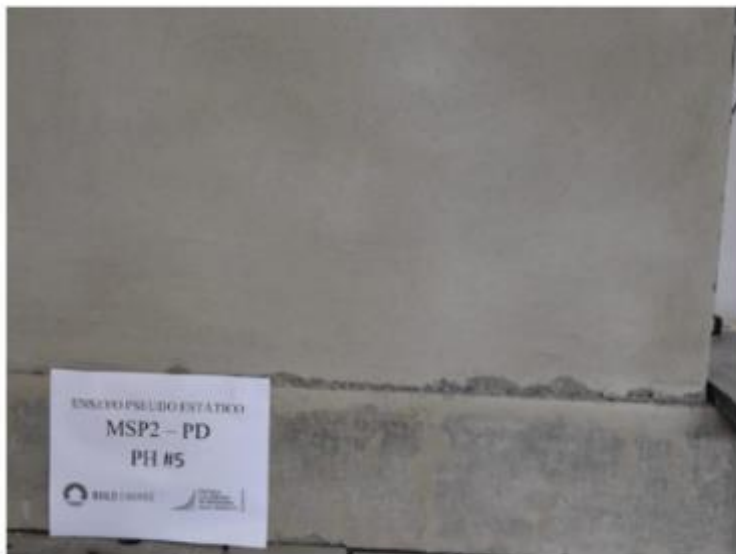


Figura 102. Fisuración en base del muro por ausencia de anclaje; falla por compresión en pañete – MSP2.

En la figura 113 se presenta la curva histerética de Fuerza vs. Deriva correspondiente al ensayo de carga lateral cíclica del muro MMP DC reforzado en ambas caras con malla y pañete.



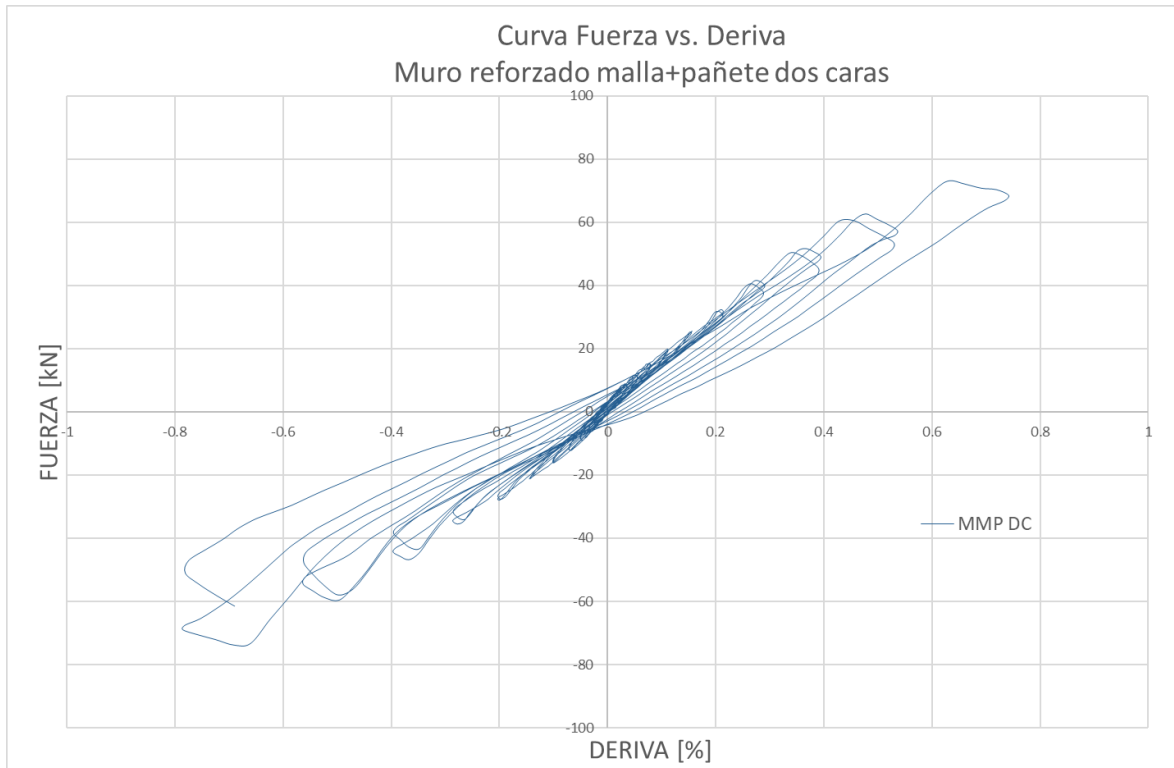


Figura 103. Curva de Fuerza vs. Deriva de ensayo de muro reforzado con malla y pañete en dos caras.

Durante el ensayo se presentaron fisuras en la zona que se encontraban los anclajes de la viga de cimentación y se dio una falla por compresión en el mortero de pañete en las esquinas inferiores del muro. En cuanto a las unidades solo se visualizaron fisuras pequeñas en los tabiques de los bloques ubicados en la primera hilada. No se presentaron fallas frágiles o súbitas durante el ensayo pues los patrones de fisuración mencionados aparecían gradualmente con el aumento del desplazamiento del actuador.



Figura 104. Fisuración de pañete en zonas de anclajes - MMP DC.



Figura 105. Fisuras en bloques de primera hilada; fisuración en zona de anclajes.

El aumento en la capacidad de carga para este tipo de reforzamiento alcanzó a ser de un 64% con respecto a los muros no reforzados y de 18% comparado con los muros reforzados con malla y mortero en una cara. La capacidad de deformación del muro tuvo una mejora debido a que llegó a obtenerse un porcentaje de deriva cercano al 0.7% sin presentar desprendimiento en la base o fallas locales repentinas durante el ensayo. El esfuerzo cortante máximo obtenido presenta un aumento con respecto a los muros reforzados solo con pañete del 30%, pero resulta siendo menor al esfuerzo cortante obtenido en los ensayos de muros sin refuerzo debido al aumento del área neta al colocar dos capas de mortero una en cada cara del muro.

Probeta	Dimensiones		P máx.	$\tau$ máx.
	B [m]	H [m]	[kN]	[MPa]
MMP DC	1.24	2.4	85.78	0.71

Tabla 26. Resultados de ensayo de carga lateral cíclica en muro reforzado con malla y pañete en dos caras.



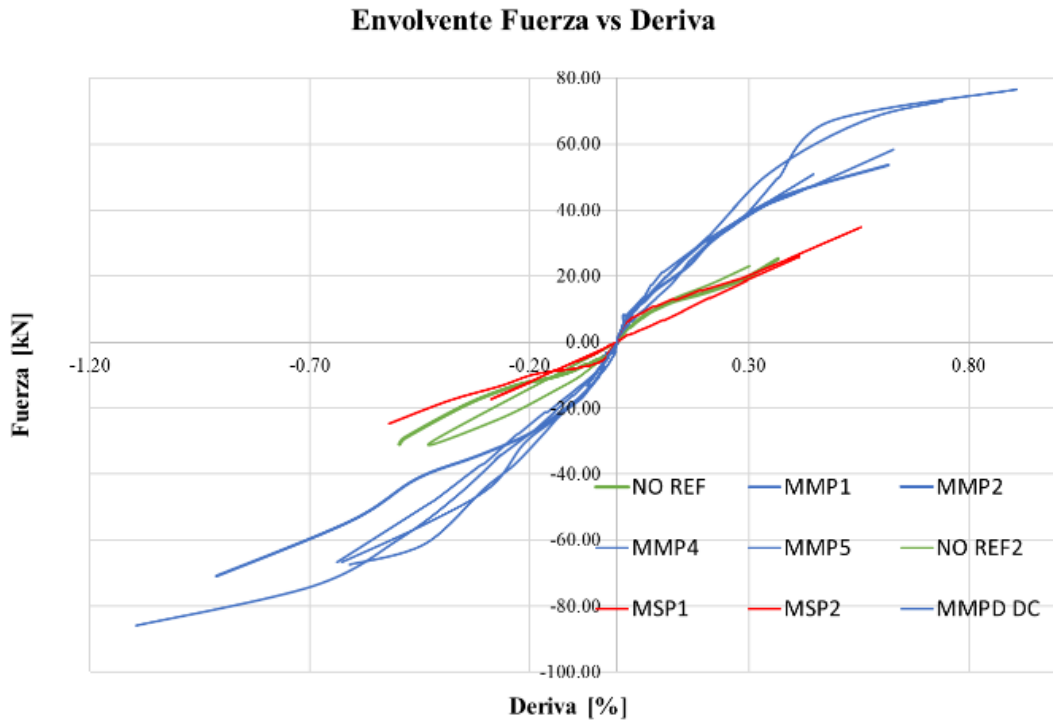


Figura 106. Envoltura de curvas de Fuerza vs. Deriva para ensayos de carga lateral cíclica.

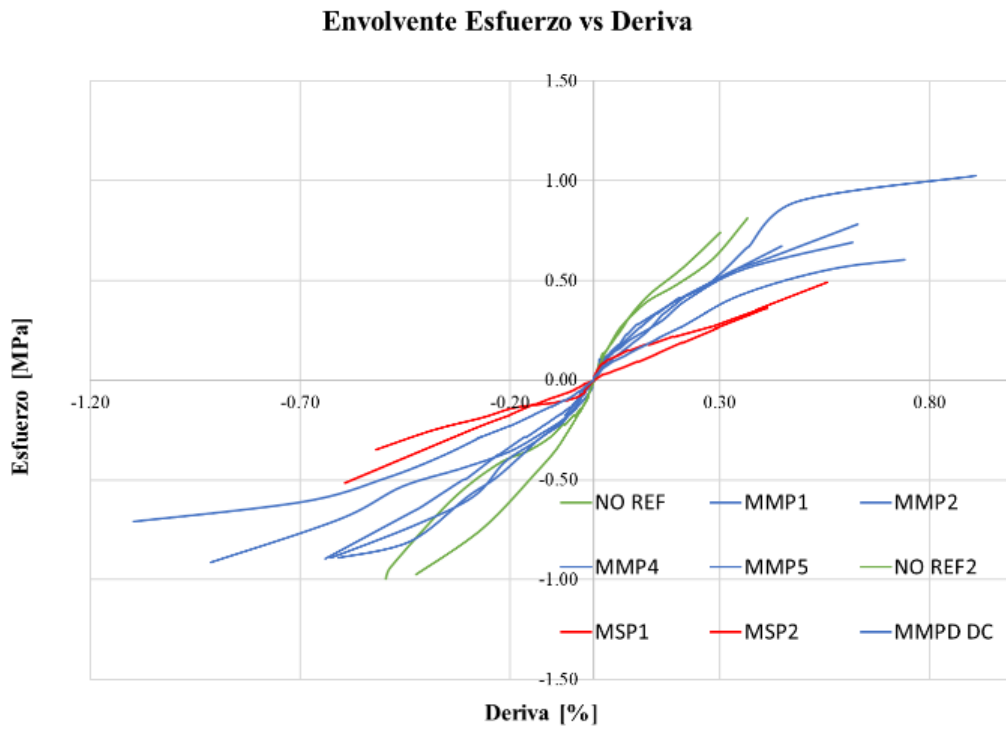


Figura 107. Envoltura de curvas de Esfuerzo vs. Deriva para ensayos de carga lateral cíclica.

En las gráficas 115 y 116 se presentan las envolventes de los ensayos realizados con carga lateral cíclica donde en color verde se muestran los muros no reforzados, en rojo los muros reforzados solo con pañete y en azul los muros reforzados con malla y pañete. De las envolventes de fuerza vs. deriva se observa que los muros reforzados cuentan con una mayor capacidad de carga a comparación de los muros no reforzados y que no tienen malla. En cuanto a la capacidad de deformación los muros reforzados con malla y pañete, en especial si es por las dos caras, muestran una mayor capacidad de deformación que aquellos reforzados solo con pañete.

En la gráfica 116 se observa que los muros que no cuentan con reforzamiento alcanzan a tener un esfuerzo cortante máximo superior a los muros reforzados con solo pañete y algunos muros reforzados con malla y pañete; esto debido a que al aplicar el reforzamiento se aumenta el área neta del muro de forma que el valor del esfuerzo va a ser menor a pesar de contar con una capacidad de carga mayor.

### 7.8 ENSAYOS FLEXIÓN FUERA DEL PLANO

En la tabla 27 se presentan los resultados de los ensayos de flexión fuera del plano para muros con reforzamiento de malla y pañete en una cara

Probeta	Dimensiones		P máx.	$\delta$ máx.	P prom	$\delta$ prom
	B [m]	H [m]	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]
MMP FFP1	1.2	2.42	10.79	13.7	11.07	18.25
MMP FFP2	1.2	2.41	9.51	15.89		
MMP FFP3	1.2	2.42	13.37	22.18		
MMP FFP4	1.2	2.42	10.6	21.21		

Tabla 27. Resultados de ensayos de flexión fuera del plano en muros reforzados con malla y pañete en una cara.

La carga máxima promedio soportada por flexión fuera del plano fue de 11.07 kN la cual fue un 11% mayor que la carga teórica esperada para este tipo de solicitaciones en muros sin reforzamiento. El desplazamiento promedio en el centro del muro d donde se aplicaba la carga fue de 18.25 mm.

Los muros llegaron a la falla luego de completarse el cuarto ciclo de carga en el que la carga máxima era de 1000 kg aplicados por el gato al centro del muro. Los especímenes FFP2, FFP3 y FFP4 mostraron un comportamiento muy similar en cuanto a desplazamientos durante los ensayos; el muro FFP1 tuvo un comportamiento más rígido y la fisuración se presentó para una carga mayor que en el caso de los otros muros. La capacidad de carga del muro FFP3 fue mayor que en los otros muros, pero su comportamiento inicial fue el mismo que en los demás.

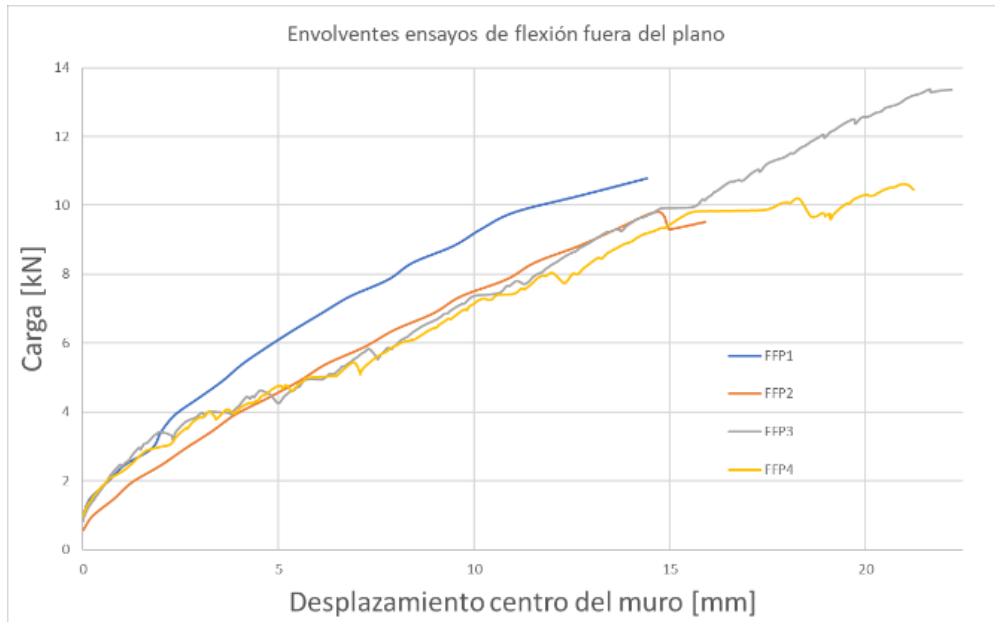


Figura 108. Envoltorio de curvas de carga vs. Desplazamiento en ensayos de flexión fuera del plano.

Al tratarse de un ensayo cíclico los muros presentaban patrones de fisuración en el pañete como se muestra en la imagen 118 donde las fisuras aparecían en dirección horizontal debido a la aplicación de la carga en la otra cara del muro las cuales a medida que se incrementaba la carga aplicada por el gato en el centro del muro se alargaban hasta cubrir el ancho total del pañete. Estas fisuras se producen debido a la tensión que se genera en la zona exterior del muro por la flexión fuera del plano, pero no se presenta una pérdida de estabilidad del muro debido a que el pañete sigue contribuyendo a que la integridad del muro se mantenga.



Figura 109. Fisuración en pañete por flexión fuera del muro.

En el momento de la falla se presentaron roturas en bloques por la deformación excesiva del muro al ser aplicada la carga donde los tabiques horizontales interiores de los bloques se rompieron de forma frágil. Se observó que el pañete se despegó de los bloques en algunas zonas después de la aplicación de la carga, pero como la malla colocada contaba con sistemas de anclaje a los bloques no se presentó una caída del material debido a este tipo de falla.

Al contar con el reforzamiento de malla y pañete en la cara opuesta a la cara donde se aplica la carga se garantiza que no se va a presentar una pérdida en la integridad del muro pues a pesar de que se presentan fisuraciones en el pañete este se mantiene uniforme durante la aplicación de la carga.



Figura 110. Falla en unidad de mampostería por flexión fuera del plano; Fisuración en pañete.

## 8. PROPUESTAS PARA EL MANUAL DE EVALUACIÓN Y REFORZAMIENTO SÍSMICO PARA REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD EN VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL DE BUILD CHANGE

A continuación, se presentan las propuestas de actualización para los aspectos del Manual que se evaluaron en esta investigación. Algunas de estas propuestas tienen como base los resultados experimentales, otras se basan en análisis hechos al interior del equipo de trabajo.

### 8.1 RESISTENCIA AL CORTE EN MNR

El Manual establece que la resistencia al corte de los muros de MNR se obtiene mediante la ecuación (35) la cual está en función de la resistencia a la compresión.

$$v_n = 0.2 * \sqrt{f'm} \quad (11)$$

$$v_n = 0.2 * \sqrt{1.1} = 0.210 \text{ MPa} \rightarrow 210 \text{ kPa}$$

Al aplicarle a esta ecuación el valor característico de  $f'm$  obtenido en los ensayos de compresión en muretes se obtiene

$$v_n = 0.2 * \sqrt{1.194} = 0.218 \text{ MPa} \rightarrow 218 \text{ kPa}$$

En el análisis de resultados estadísticos de los ensayos de compresión diagonal realizados en muretes se obtuvo un valor característico de la resistencia al corte mostrado en la tabla 21 de 0.217 MPa (217 kPa). Al comparar estos valores se encuentra que la variación entre los valores obtenidos en los ensayos experimentales y el valor presentado en el Manual es del 3,6% de manera que se puede asumir que el valor empleado para establecer la resistencia al corte de muros de MNR es correcto y conservador.

### 8.2 FACTOR DE ÁREA NETA

El Manual propone aplicar el factor  $C_N$  para ajustar la resistencia de la mampostería cuando se emplea un bloque diferente del No 4 empleando la siguiente tabla

Factor de Área Neta, $C_N = (\text{Área Sólida} / \text{Área bruta})/0.32$ <small>nota: por revoque se entiende pañete con capacidad estructural</small>			
Bloque	Sin revoque	Revoque o pañete 1 cara (1.5cm)	Revoque o pañete en 2 caras (3 cm)
4	1.00	no se contabiliza	1.51
5	0.82	1.09	1.31
Tolete (ladrillo sólido)	3.15	3.15	3.15

Tabla 28. Valores de factor de área neta propuestos en el Manual.

De común acuerdo con Build Change se decidió que el factor de área neta se normalizara con respecto al bloque No 5, teniendo en cuenta la existencia de revoque existente de

1.5 centímetros en una o dos caras como se presenta en la siguiente tabla donde se tienen en cuenta las dimensiones de las unidades, la relación entre el área sólida y el área bruta del bloque y el espesor del revoque. También se recomienda que el factor  $C_N$  se debe ver afectado por un factor de efectividad del revoque, el cual se implementará para considerar que el mortero existente se encuentra en buenas condiciones y cumpla las características como correcta adherencia o espesor uniforme a lo largo del muro.

UNIDAD	H (cm)	L (cm)	t (cm)	Área sólida/Área bruta	Sin revoque	Revoque de 1.5 cm, 1 cara	Revoque de 1.5 cm, dos caras
Bloque No. 4	23	33	9	0.317	1.21	1.85	2.49
Bloque No. 5	23	33	11	0.261	1.00	1.52	2.04
Ladrillo tolete	6	24	12	1.000	3.83	4.31	4.79

Factor de efectividad pañete existente

1

Tabla 29. Propuesta para valores de factor de área neta.

### 8.3 FACTOR DE AJUSTE PARA PAÑETE ESTRUCTURAL

El factor de ajuste para el reforzamiento empleando pañete se obtiene mediante la relación entre la resistencia del bloque de mampostería y el mortero obteniendo los siguientes valores.

#### Factor de ajuste para pañete nuevo, $K_p$

$K_p = 1.0$  (1.5 cm de revoque a un lado de la muro)  
 $K_p = 2.0$  (1.5 cm de revoque a cada lado del muro, un total de 3.0cm)

Tabla 30. Factores de ajuste para pañete nuevo propuestos en el Manual.

Con base a los resultados obtenidos en los ensayos de carga lateral cíclica con las tres metodologías de reforzamiento se estableció la relación entre la capacidad de carga máxima resistida en cada uno de estos sistemas con respecto a los muros no reforzados. En la siguiente tabla se presenta el resumen de resultados de los ensayos realizados con las relaciones de fuerza y esfuerzo máximos.

	MMP	MSP	MC	MMP DC
Carga máxima (kN)	70,3	36,3	30,6	73,7
Resistencia máxima (kPA)	929	478	701	705
Relación fuerza máxima	2,3	1,2	1,0	2,4
Relación resistencia máxima	1,3	0,7	1,0	1,0

MMP= Muro Malla Pañete; MSP=Muro Solo Pañete; MC=Muro sin refuerzo; MMP DC= Muro malla pañete doble cara

Tabla 31. Resumen de resultados obtenidos en ensayos de carga lateral cíclica.

Los factores de ajuste se calcularon con base en estos resultados de manera que la capacidad de carga de los muros reforzados se dividía en la capacidad de carga obtenida en los muros sin reforzamiento. Así, aplicar 3 cm de pañete sin refuerzo en una cara del muro es equivalente a aumentar la longitud de muros en un 20%; aplicar 3 cm de pañete con malla en una cara del muro equivale a aumentar la longitud de muros en un 130% y aplicar 3 cm de pañete con malla en las dos caras del muro equivale a aumentar la longitud de muros en un 180%.

Tipo de reforzamiento	K <sub>p</sub>
Muro con pañete por una cara del muro, 3 cm	1.2
Muro con malla y pañete por una cara del muro, 3 cm	2.3
Muro con malla y pañete por las dos caras del muro	2.8

Tabla 32. Propuesta de factores de ajuste para pañete  $K_p$ .

#### 8.4 PORCENTAJE DE ÁREA DE MUROS REQUERIDO, BPAM

El Manual propone que el BPAM mínimo se trabaje de forma separada en el caso de tener muros tipo MNR o con confinamiento MC, trabajando valores de 8% y 4% respectivamente como se presenta en la siguiente ecuación.

$$PAM_{requerido}: (bPAM_{requerido} \times C_B \times C_Q \times C_R \times C_P \times C_W \times 1/R), \geq 8\% \text{ (para MNR)}, \geq 4\% \text{ (para MC)}$$

A partir de la revisión de estas especificaciones, se encontró que estos valores (8% y 4%) podían ser menores en algunas zonas de amenaza sísmica baja y mayores en zona de amenaza sísmica alta. De esta manera, se propuso que este valor dependiera de la amenaza sísmica y del tipo de suelo para mejorar la estimación del BPAM. Con estos cambios, se obtuvieron los siguientes valores con base a los datos de Aa y Fa establecidos en el título A del Reglamento NSR-10. Ya que en zonas de amenaza sísmica alta no se permite el uso de estructuras de mampostería no reforzada se omitió esta zona para el cálculo de los factores presentados. Se presentan asimismo unas tablas simplificadas, que pueden hacer más sencilla la utilización del Manual.

BPAM para sistemas de muros en MNR

TABLA CONSIDERANDO LAS 4 REGIONES EN AMENAZA INTERMEDIA Y BAJA

Región	Amenaza	Perfil de Suelo				
		A	B	C	D	E
1	Baja	0.5%	0.7%	0.8%	1.1%	1.6%
2		2.1%	2.6%	3.2%	4.2%	6.6%
3	Intermedia	3.2%	3.9%	4.7%	5.9%	8.3%
4		4.2%	5.3%	6.3%	7.4%	9.0%

Tabla 33. BPAM para sistemas de muros en MNR.



**PROPUESTA TABLA SIMPLIFICADA 1**

Aa	Tipo de suelo				
	A	B	C	D	E
Hasta 0.10	2.1%	2.6%	3.2%	4.2%	6.6%
0.10 - 0.20	4.2%	5.3%	6.3%	7.4%	9.0%

Tabla 34. BPAM simplificados (1) para sistemas de muros en MNR.

**PROPUESTA TABLA SIMPLIFICADA 2**

Aa	Tipo de suelo		
	A/B	C/D	E
Hasta 0.10	3.0%	5.0%	7.0%
0.10 - 0.20	6.0%	8.0%	9.0%

Tabla 35. BPAM simplificados (2) para sistemas de muros en MNR.

BPAM para sistemas de muros en MC

**TABLA CONSIDERANDO LAS 4 REGIONES EN AMENAZA INTERMEDIA Y BAJA**

Región	Amenaza	Perfil de Suelo				
		A	B	C	D	E
1	Baja	0.6%	0.8%	0.9%	1.2%	1.9%
2		2.4%	3.0%	3.6%	4.9%	7.6%
3	Intermedia	3.6%	4.6%	5.5%	6.8%	9.6%
4		4.9%	6.1%	7.3%	8.5%	10.3%
5	Alta	6.1%	7.6%	8.7%	9.9%	11.0%
6		7.3%	9.1%	10.0%	10.9%	10.9%
7		8.5%	10.6%	11.2%	12.2%	11.2%
8		9.7%	12.2%	12.2%	13.4%	10.9%
9		10.9%	13.7%	13.7%	14.4%	12.3%
10		12.2%	15.2%	15.2%	15.2%	13.7%

Tabla 36. BPAM para sistemas de muros en MC.

**PROPUESTA TABLA SIMPLIFICADA 1**

Aa	Tipo de suelo				
	A	B	C	D	E
Hasta 0.10	2.4%	3.0%	3.6%	4.9%	7.6%
0.10 - 0.20	4.9%	6.1%	7.3%	8.5%	10.3%
0.20 - 0.30	7.3%	9.1%	10.0%	10.9%	11.0%
0.30 - 0.40	9.7%	12.2%	12.2%	13.4%	11.2%
0.40 - 0.50	12.2%	15.2%	15.2%	15.2%	13.7%

Tabla 37. BPAM simplificados (1) para sistemas de muros en MC.

**PROPUESTA TABLA SIMPLIFICADA 2**

Aa	Tipo de suelo		
	A/B	C/D	E
Hasta 0.10	4.0%	5.0%	8.0%
0.10 - 0.20	7.0%	9.0%	11.0%
0.20 - 0.30	10.0%	11.0%	12.0%
0.30 - 0.40	13.0%	14.0%	12.0%
0.40 - 0.50	16.0%	16.0%	14.0%

**Tabla 38. BPAM simplificados (2) para sistemas de muros en MC.**

## 9. MODELACIÓN MATEMÁTICA

La modelación de los muros se realizó empleando el software de análisis estructural SAP2000 con el cual se trabajaron tres modelos de muros en elementos finitos teniendo en cuenta el reforzamiento empleando pañete en una sola cara, pañete con malla electrosoldada y sin reforzamiento. Para la creación de los modelos de los muros se emplearon las propiedades mecánicas obtenidas en los ensayos de caracterización. Con esta modelación se busca realizar una calibración de modelos empleando un procedimiento sencillo de usar mediante un software comercial con el cual se puedan asignar a los muros creados en elementos finitos las propiedades obtenidas en los ensayos de laboratorio de manera que a futuro se logre realizar una modelación completa de una estructura en MNR para poder evaluar sus propiedades.

El software de análisis SAP2000 es un programa que se emplea como herramienta para facilitar el análisis de sistemas estructurales a los cuales se les debe definir su geometría, propiedades de los materiales y solicitaciones de carga a las que se puede ver sometido con el fin de poder comprender el comportamiento de los elementos que lo componen y realizar un diseño con base a los códigos de diseño y construcción.

Al tratarse de sistemas cuya dimensiones de ancho y altura son significativamente mayores al espesor, el muro puede ser modelado empleando elementos de área o sólidos. Para este caso se empleó un elemento de área tipo Shell, en el cual las propiedades del muro como lo son rigidez dentro y fuera del plano son tenidas en cuenta en el programa para el cálculo de deformaciones y esfuerzos.

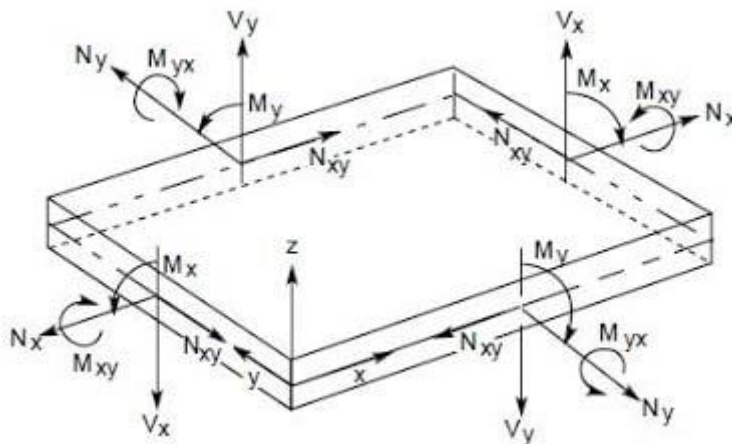


Figura 111. Idealización de elemento de área tipo Shell.

Un elemento tipo Shell se define por 4 o 8 nodos en los extremos que forman un cuadrilátero o definido por 3 o 6 nodos que forman un triángulo y que cuenta con tres ejes locales. Este tipo de elementos pueden ser homogéneos o compuestos por capas que definen sus características, las cuales pueden ser definidas como dependientes de temperatura, ortotrópicas y de un material que presente un comportamiento no lineal.

### 9.1 GEOMETRÍA

La geometría corresponde a la de los muros a escala real: ancho de 1.20 metros y una altura 2.40 metros.

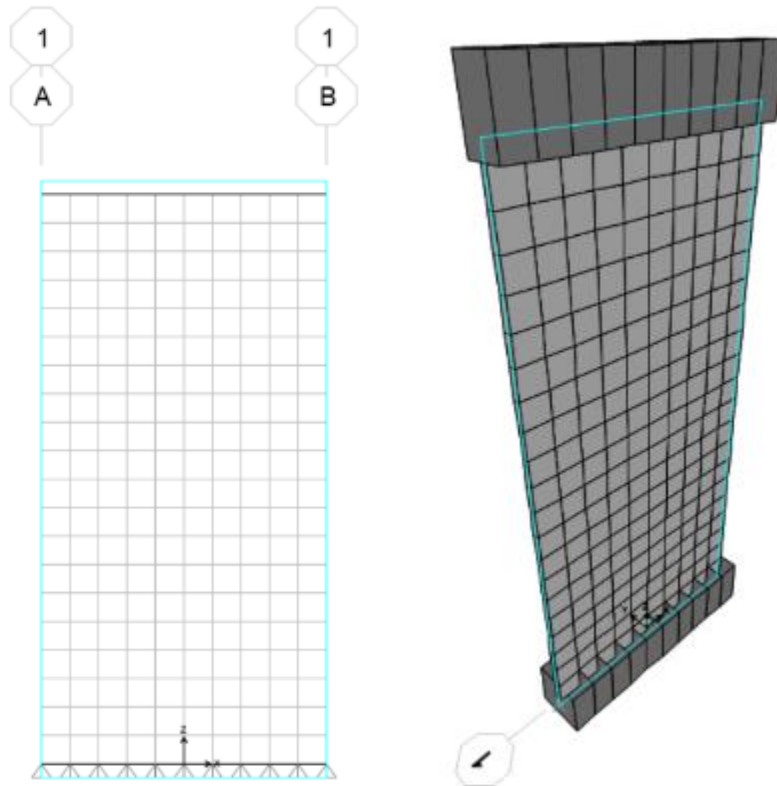


Figura 112. Modelo de muro de mampostería no reforzado en SAP2000.

### 9.1.1 GEOMETRÍA DEL MURO

Cuando se emplean elementos de área en el programa, éstos transmiten los esfuerzos y cargas por medio de los nudos que definen el cuadrilátero o triángulo que forma el área, razón por la cual, si se desea obtener resultados locales como la distribución de esfuerzos y deformaciones, los elementos deben discretizarse. Al tratarse de un elemento de área tipo Shell el espesor del muro debe definirse con base a la sección transversal del muro, que en el caso de los ensayos de laboratorio correspondía a 12 centímetros. En la definición de secciones de área se trabajó con un elemento Shell-Layered/Nonlinear que corresponde a un modelo de capas que representan los diferentes materiales que componen el muro. Estos materiales pueden definirse a partir de sus curvas esfuerzo deformación y por tanto, considerar el comportamiento inelástico de los mismos. Este modelo se basa en la suposición de una compatibilidad perfecta entre las capas, lo que significa que los mecanismos de falla por adherencia o deslizamiento no se consideran.

Ya que el muro estaba formado por bloques de mampostería con perforaciones horizontales el espesor del modelo debía definirse como un espesor equivalente en el cual se tuviera en cuenta únicamente el área maciza del muro. Por esto se decidió trabajar con un espesor del muro equivalente de 30 mm como se muestra en la figura de la definición de la geometría del elemento tipo Shell. Este tipo de elemento fue el que se empleó para definir el muro que no contaba con ningún tipo de reforzamiento.

Section Name: MURO

Section Notes: Modify/Show...

Display Color: [Yellow]

Type:

- Shell - Thin
- Shell - Thick
- Plate - Thin
- Plate Thick
- Membrane
- Shell - Layered/Nonlinear

Modify/Show Layer Definition...

Concrete Shell Section Design Parameters: Modify/Show Shell Design Parameters...

Thickness:

- Membrane: [30]
- Bending: [ ]

Material:

- Material Name: [MAMPOSTERÍA]
- Material Angle: [0]

Time Dependent Properties: Set Time Dependent Properties...

Stiffness Modifiers: Set Modifiers...

Temp Dependent Properties: Thermal Properties...

Figura 113. Definición de sección tipo área.

Layer Name	Distance	Thickness	Type	Num Int. Points	Material	Material Angle	Type	Material S11	Component S22	Behavior S12
1	0	30	Shell	2	MAMPOSTERÍA	0	Directional	Linear	Nonlinear	Linear

Section Name: MURO

Order Layers By Distance: Order Ascending

Calculated Layer Information:

- Number of Layers: 1
- Total Section Thickness: 30
- Sum of Layer Overlaps: 0
- Sum of Gaps Between Layers: 0

OK Cancel

Figura 114. Definición de propiedades para sección tipo Shell- Layered/Non linear – Modelo no reforzado.

Para definir el mortero de pañete y la malla electrosoldada que se empleaban en los muros reforzados se siguió un modelo similar al anterior en el cual además de contar con una capa de mampostería con un espesor equivalente se le agregaron las capas correspondientes al mortero de pañete y la malla electrosoldada.

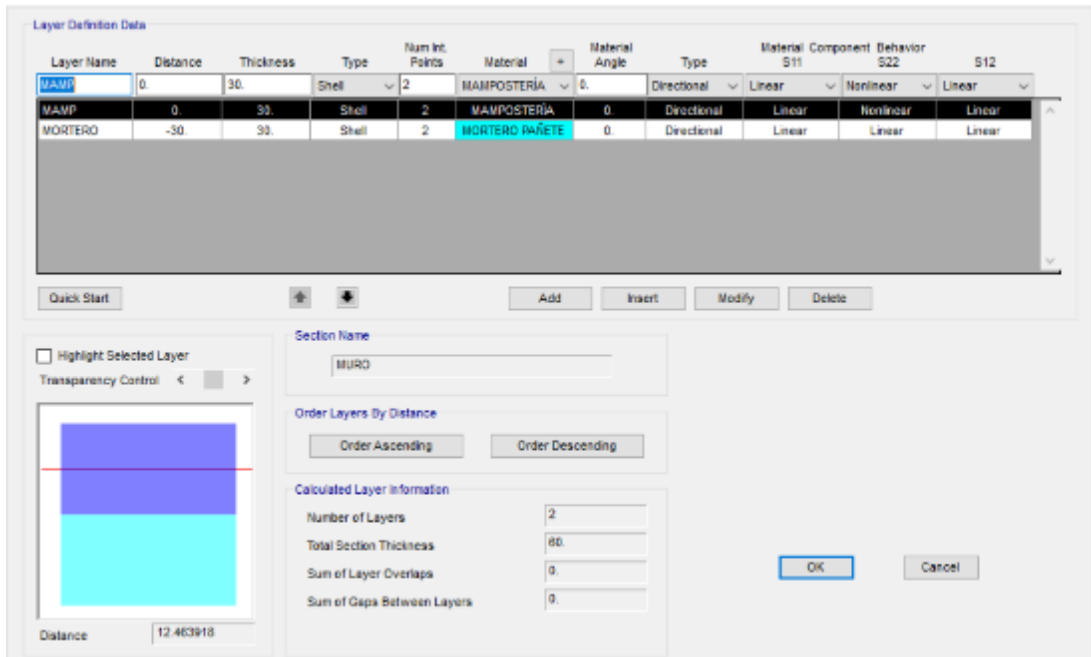


Figura 115. Definición de propiedades para sección tipo Shell- Layered/Non linear – Modelo reforzado con pañete en una cara.

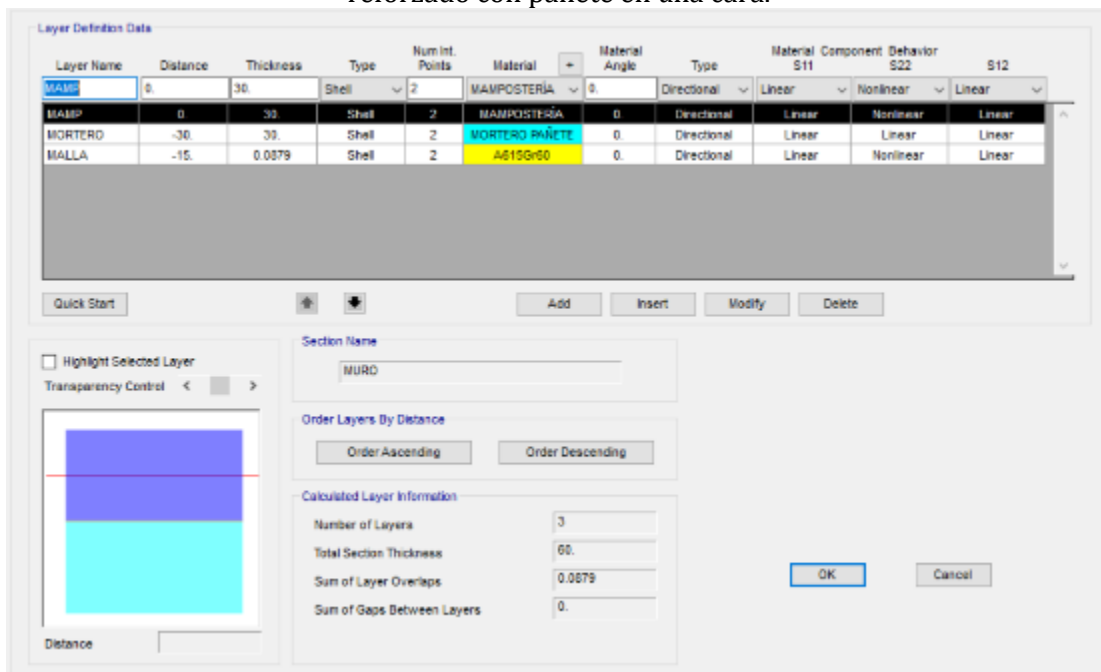


Figura 116. Definición de propiedades para sección tipo Shell-Layered/Non linear – Modelo reforzado con malla electrosoldada y pañete en una cara.

En el caso de la malla electrosoldada de acero se definió como una capa de 0.0879 mm de espesor equivalente teniendo en cuenta el diámetro de 4 mm y la separación de 15 cm correspondientes a la geometría de la malla.

$$A_s = b * t_{eq} = 105.48 \text{ mm}^2$$

$$t_{eq} = \frac{105.48}{1200} = 0.0879 \text{ mm}$$

La ubicación de las capas depende del espesor definido para estas y de la posición en la que se encuentra. En el caso de la malla electrosoldada se asignó entre las capas de mampostería y mortero de pañete. En las figuras anteriores se muestra un esquema detallando la ubicación de cada una de las capas definidas para la sección según el tipo de reforzamiento.

### 9.1.2 GEOMETRÍA DE VIGAS

Para definir las condiciones de borde del muro se definieron dos elementos tipo Frame para simular las vigas de cimentación y superior que se construyeron para la distribución de carga y apoyo en los muros de los ensayos. Estas vigas se asignaron con una sección transversal rectangular de concreto reforzado ubicadas en la zona superior e inferior del elemento tipo Shell, divididas en tramos de 100 mm de longitud para que la transmisión de cargas y esfuerzos tuviera una mejor distribución entre los nudos del modelo.

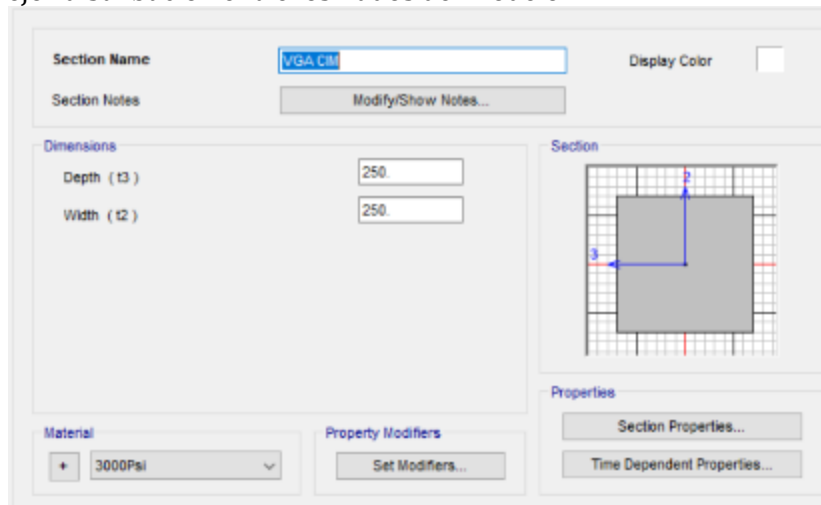


Figura 117. Definición de sección transversal para viga de cimentación.

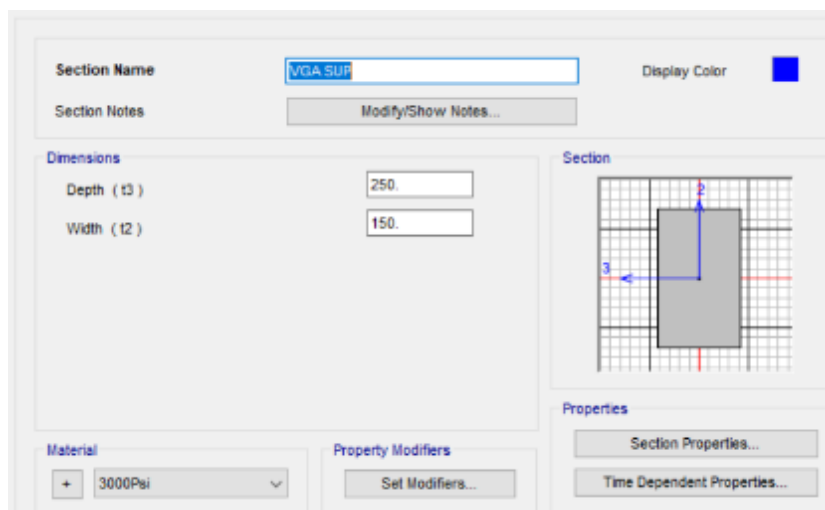


Figura 118. Definición de sección transversal para viga superior.

### 9.1.3 CONDICIONES DE APOYO

Los apoyos de los muros se colocaron en la viga inferior ya que ésta estaba fija al marco de reacción. Los apoyos empleados en la viga superior durante los ensayos se omitieron en la



modelación debido a que estos se empleaban solamente para poder tener una medición de la carga axial que se aplicaba en el muro debido al giro por la aplicación de la carga lateral.

Para el caso de los muros reforzados con malla electrosoldada y mortero en una cara en el cual se emplearon barras de acero No. 3 para anclar la malla a la viga de cimentación se definieron estos elementos según la ubicación que se tenía en los muros a escala real. Estas barras se modelaron como elementos tipo Frame que unen la viga inferior con los nudos de los elementos discretizados del muro.

#### 9.1.4 GRADOS DE LIBERTAD

Debido a que en los ensayos de carga lateral cíclica se restringía el desplazamiento fuera del plano, se hicieron los análisis sobre una estructura plana, con tres grados de libertad por nudo.

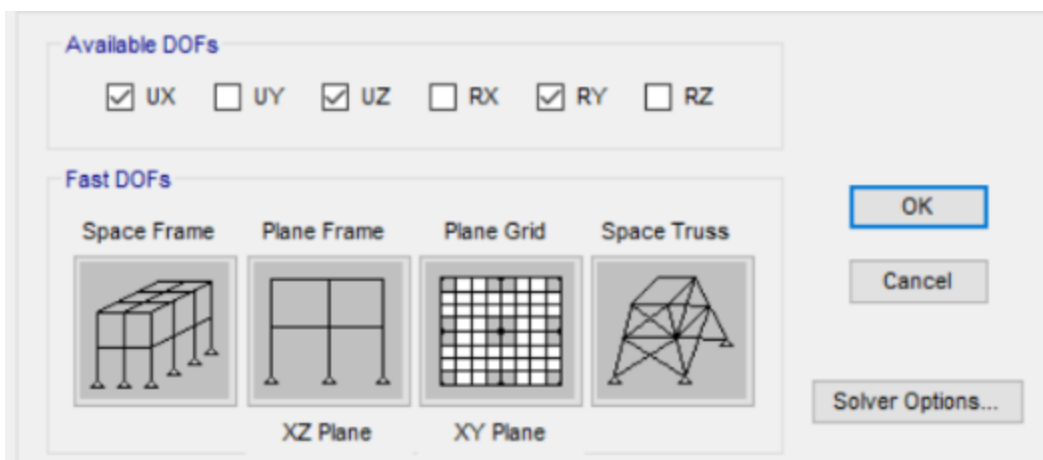


Figura 119. Definición de grados de libertad.

## 9.2 MATERIALES

Para definir las propiedades de los materiales que componen los muros y sus correspondientes sistemas de reforzamiento se emplearon los resultados obtenidos de los ensayos de caracterización de los materiales y valores obtenidos de otras investigaciones. Para la definición de los materiales se debe tener en cuenta si se va a considerar que tienen un comportamiento lineal o no lineal y contar con su curva esfuerzo – deformación.

### 9.2.1 MAMPOSTERÍA

Al definir los muros como elementos de tipo área las propiedades del material se tomaron de forma que el material definiera las características de la mampostería como la unión de bloques de arcilla y el mortero de pega. El peso por unidad de volumen se tomó como 1876 kg/m<sup>3</sup> y el módulo elástico se obtuvo de la tabla 19 donde se presenta el análisis estadístico de los ensayos de compresión en muretes de mampostería que corresponde a un valor de 2517 MPa.

<b>Material Name</b> MAMPOSTERÍA	<b>Material Type</b> Other	<b>Symmetry Type</b> Isotropic
<b>Modulus of Elasticity</b> E 2517.	<b>Weight and Mass</b> Weight per Unit Volume 1.840E-05 Mass per Unit Volume 1.876E-09	<b>Units</b> N, mm, C
<b>Poisson</b> U 5.000E-04	<b>Advanced Material Property Data</b> Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...	
<b>Coeff of Thermal Expansion</b> A 1.170E-05		
<b>Shear Modulus</b> G 1257.8711		

Figura 120. Definición de propiedades para el material de mampostería.

Ya que el análisis que se quiere realizar con la modelación busca encontrar una similitud con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, en los cuales los muros de carga lateral cíclica fueron llevados a una degradación más allá del límite elástico el material de la mampostería se definió con propiedades no lineales. Esta definición del material no lineal se realizó empleando el modelo propuesto en el ACI 530-02 donde con base al valor de la resistencia a la compresión de la mampostería  $f'_m$  se establece una curva de degradación del material en función a la deformación unitaria.

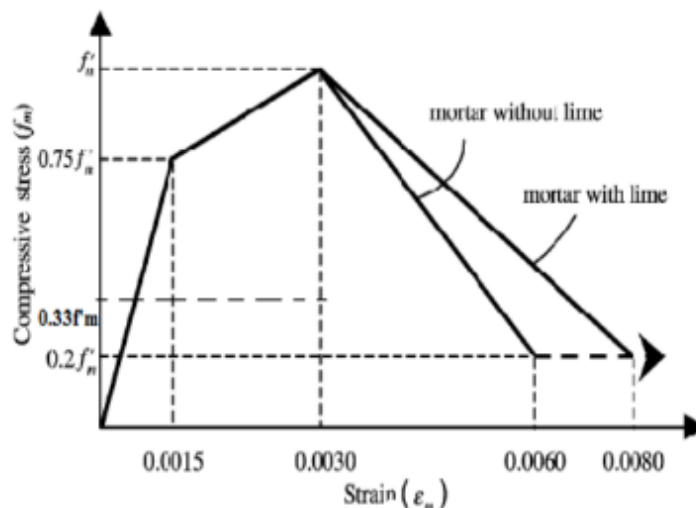


Figura 121. Modelo de esfuerzo – deformación para MNR (Sharma & Khare, 2016).

Este modelo se asigna a las propiedades no lineales del material en el programa definiendo los puntos mostrados en el gráfico anterior tomando el valor de la resistencia a la compresión como 1.194 MPa.

Material Name: MAMPOSTERÍA

Material Type: Other

Hysteresis Type: Isotropic

Drucker-Prager Parameters: Friction Angle: 0., Dilatational Angle: 0.

Units: N, mm, C

Stress-Strain Curve Definition Options:  Parametric,  User Defined

User Stress-Strain Curve Data: Number of Points in Stress-Strain Curve: 5

	Strain	Stress	Point ID
1	-1.500E-03	-0.8955	
2	0.	0.	
3	1.500E-03	0.8955	
4	3.000E-03	1.194	A
5	8.000E-03	0.2388	

Order Rows

Show Plot...

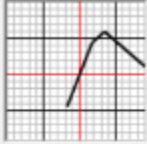


Figura 122. Definición de propiedades no lineales para mampostería.

### 9.2.2 MORTERO DE PAÑETE

El mortero de pañete se definió con base a resultados encontrados en otras investigaciones para las cuales se obtuvo un valor de módulo de elasticidad de 840 MPa (S. López, 2013). El peso por unidad de volumen se asignó con un valor de 2100 kg/m<sup>3</sup>.

Material Name: MORTERO PAÑETE

Material Type: Other

Symmetry Type: Isotropic

Modulus of Elasticity: E: 840.

Weight and Mass: Weight per Unit Volume: 2.050E-05, Mass per Unit Volume: 2.100E-09

Units: N, mm, C

Poisson: U: 0.3

Coeff of Thermal Expansion: A: 1.170E-05

Shear Modulus: G: 323.0769

Advanced Material Property Data:

Figura 123. Definición de propiedades para el material de mortero de pañete.

### 9.2.3 ACERO MALLA ELECTROSOLDADA Y BARRAS DE ANCLAJE

Para la malla electrosoldada y las barras de anclaje se asignó un acero tipo A615 Gr60 definido en el programa como acero de refuerzo para concreto, el cual cuenta con las mismas propiedades mecánicas del acero A1064 que corresponde al material de fabricación empleado para las mallas electrosoldadas (<https://www.gerdau.com.co/PRODUCTOSYSERVICIOS/Productos/LineasProductos/MallaEstandarElectrosoldada.aspx>). Este acero tiene un peso por unidad de volumen de 7849 kg/m<sup>3</sup> y un módulo de elasticidad de 200000 MPa.

En cuanto a la definición del comportamiento no lineal del acero para la malla electrosoldada se empleó un modelo de histéresis Isotrópico. A diferencia de los modelos en los que se tiene en cuenta el endurecimiento del acero, la resistencia no presenta un incremento, solo en los tramos de carga y descarga en el otro sentido. Para este modelo el proceso de carga y descarga se da de forma paralela a la línea elástica del comportamiento inicial del material.

Property	Value
Material Name	A615Gr60
Material Type	Rebar
Symmetry Type	Uniaxial
Modulus of Elasticity (E1)	199947.98
Weight per Unit Volume	7.697E-05
Mass per Unit Volume	7.849E-09
Units	N, mm, C
Poisson's ratio (U12)	0.3
Coeff of Thermal Expansion (A1)	1.170E-05
Shear Modulus (G12)	76903.07
Minimum Yield Stress, Fy	413.6855
Minimum Tensile Stress, Fu	620.5282
Expected Yield Stress, Fye	455.054
Expected Tensile Stress, Fue	682.581

Figura 124. Definición de propiedades para el material de malla electrosoldada.

Material Name: A615Gr60      Material Type: Rebar

Hysteresis Type: Isotropic

Drucker-Prager Parameters: Friction Angle:      Dilatational Angle:      Units: Kgf, m, C

Stress-Strain Curve Definition Options:  Parametric       User Defined      Convert To User Defined

User Stress-Strain Curve Data: Number of Points in Stress-Strain Curve: 13

	Strain	Stress	Point ID
1	-0.108	-26576032.	
2	-0.09	-63276266.	-E
3	-0.0456	-60126313.	
4	-0.0189	-50119408.	
5	-0.01	-42184178.	
6	-2.069E-03	-42184178.	-B
7	0.	0.	A
8	2.069E-03	42184178.	B
9	0.01	42184178.	
10	0.0189	50119408.	
11	0.0456	60126313.	
12	0.09	63276266.	E

Order Rows      Show Plot...

Figura 125. Definición de propiedades no lineales para malla electrosoldada.

### 9.2.4 CONCRETO VIGAS

El material definido para las vigas de cimentación y superior fue un concreto con una resistencia a la compresión de 3000 psi (21 MPa) con un peso por unidad de volumen de 2400 kg/m<sup>3</sup> y un módulo elástico de 21525 MPa. Debido a que no se asumió que las vigas permanecían en el rango elástico durante los ensayos no se le asignaron propiedades no lineales al material de las vigas.

Material Name: 3000Psi      Material Type: Concrete      Symmetry Type: Isotropic

Modulus of Elasticity: E: 21525.582

Poisson: U: 0.2

Coeff of Thermal Expansion: A: 9.900E-05

Shear Modulus: G: 8968.9843

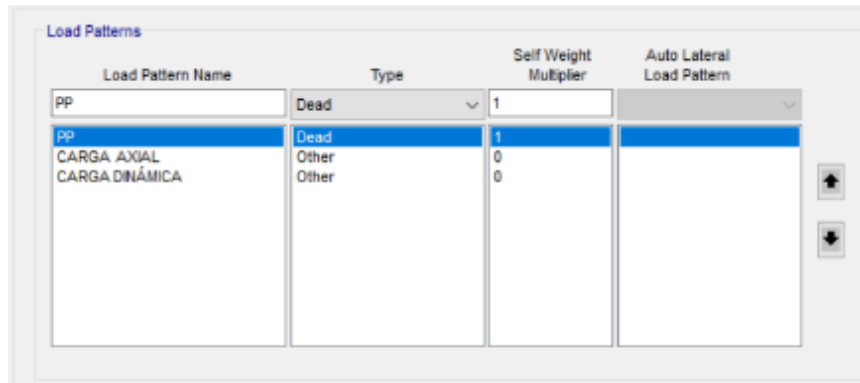
Weight and Mass: Weight per Unit Volume: 2.358E-05      Mass per Unit Volume: 2.403E-09      Units: N, mm, C

Other Properties For Concrete Materials: Specified Concrete Compressive Strength, f<sub>c</sub>: 20.6843      Expected Concrete Compressive Strength: 20.6843       Lightweight Concrete      Shear Strength Reduction Factor:      Advanced Material Property Data: Nonlinear Material Data...      Material Damping Properties...      Time Dependent Properties...

Figura 126. Definición de propiedades para el material de vigas de concreto.

### 9.3 CARGAS APLICADAS

Para poder tener una mayor similitud entre el comportamiento de los especímenes ensayados en el laboratorio con carga lateral cíclica y los resultados de los modelos matemáticos se definieron tres patrones de carga con los cuales se describen los tipos de carga aplicados al muro:



Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
PP	Dead	1	
PP	Dead	1	
CARGA AXIAL	Other	0	
CARGA DINÁMICA	Other	0	

Figura 127. Patrones de carga definidos para la modelación.

- PP: Corresponde a el peso propio de los elementos definido por el valor establecido en la definición de los materiales como peso por unidad de volumen. El programa automáticamente define cual será el peso de cada elemento y el punto donde este se concentra.
- CARGA AXIAL: Corresponde a la carga aplicada el muro en la viga superior mediante un gato hidráulico. Esta carga con un valor de 4 toneladas se aplica a la viga superior de forma puntual buscando que este elemento la distribuya en el elemento de área definido para el muro.

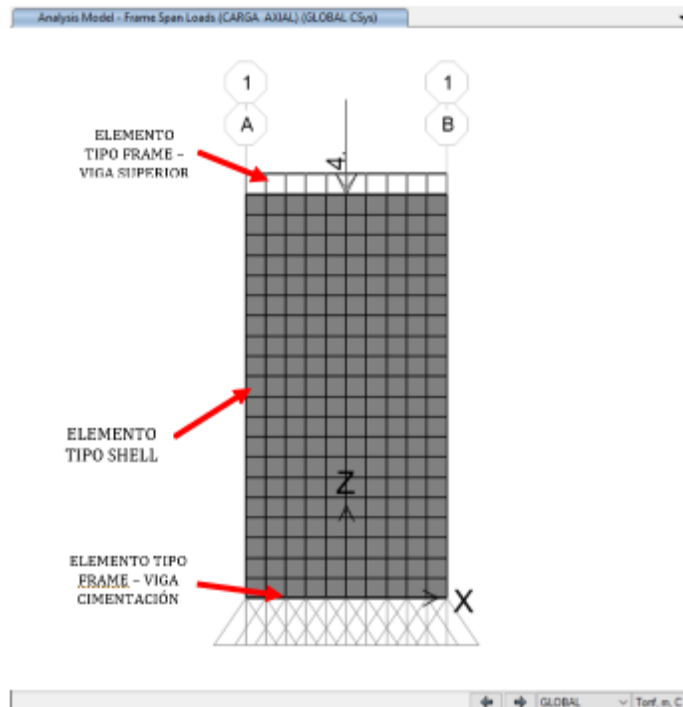


Figura 128. Asignación de carga axial a viga superior del modelo.

- **CARGA CÍCLICA:** Corresponde a la fuerza aplicada al muro mediante el actuador durante el ensayo de carga lateral cíclica. Para definir esta carga se empleó el protocolo de carga mencionado en el capítulo 7 del presente documento y se asignó al programa empleando la opción de una función tipo Time History.

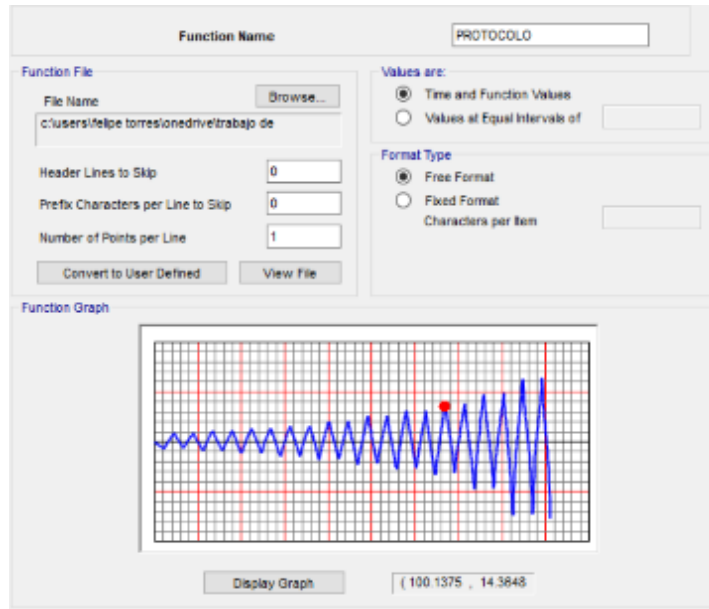


Figura 129. Definición de función de carga lateral cíclica.

La aplicación de esta carga cíclica se realiza como una fuerza distribuida a lo largo de la longitud de la viga superior de forma que esta fuerza se distribuya en el muro por medio de los nodos que conectan el elemento Frame con el área. Esto se hace ya que al aplicar la fuerza cíclica como una carga puntual la concentración de esfuerzos se dará en un solo punto del muro y no se distribuirá en el modelo.

Debido a que las cargas mencionadas anteriormente actúan de forma simultánea se definió una combinación de cargas en cual se suman los efectos de estas para poder establecer el comportamiento del muro a verse sometido a todas las solicitaciones simultáneamente. Esta combinación no se realizó empleando factores de mayoración debido a que no se trata de un diseño o revisión estructural.



Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
CARGA AXIAL	Linear Static	1.
CARGA AXIAL	Linear Static	1.
CARGA DINÁMICA	Nonlinear Modal History (FNA)	1.
DEAD	Linear Static	1.

Figura 130. Definición de combinación de carga.

## 9.4 RESULTADOS MODELACIÓN

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a desplazamientos y distribución de esfuerzos obtenidos de los tres modelos realizados en el software SAP2000.

### 9.4.1 DESPLAZAMIENTOS

Con los resultados obtenidos en los tres modelos se hizo la evaluación de los desplazamientos máximos producidos en la parte superior de los muros producidos por la envolvente de la combinación de los efectos de las cargas asignadas.

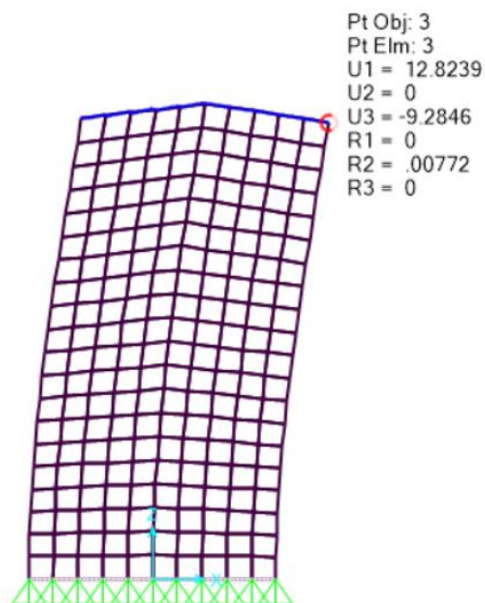


Figura 131. Curva deformada de muro no reforzado. Desplazamiento en mm.

MODELO	$\Delta_{MÁX}$	$\Delta_{MÁX}$	Deriva $_{MÁX}$	Deriva $_{MÁX}$	VARIACIÓN
	Experimental	Modelación	Experimental	Modelación	
	[mm]	[mm]	[%]	[%]	[%]
MNR	11.18	12.8	0.46%	0.53%	13%
MSP	13.42	12.2	0.55%	0.50%	9%
MMP	18.5	18.8	0.76%	0.78%	2%

Tabla 39. Comparación de desplazamientos experimentales y de modelación.

Al comparar los resultados de la modelación para los tres tipos de muros con el promedio de los resultados obtenidos en los ensayos de carga lateral cíclica se encontró una similitud en la magnitud de los resultados obteniendo un porcentaje de variación máximo de 13% para el caso de los muros sin reforzamiento

#### 9.4.2 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS

La transmisión de cargas del muro se estudió mediante los diagramas de esfuerzos obtenido con el programa para la componente S22 correspondiente a esfuerzos de corte generados por cargas paralelas al plano y S11 para esfuerzos por carga axial. En la figura 133 se presentan las envolventes de esfuerzos generados por la acción simultánea de las cargas aplicadas en el modelo para la envolvente positiva y negativa. Se observa que los esfuerzos máximos se concentran en las esquinas inferiores del muro, coincidiendo con las fallas encontradas en los ensayos de carga lateral cíclica.

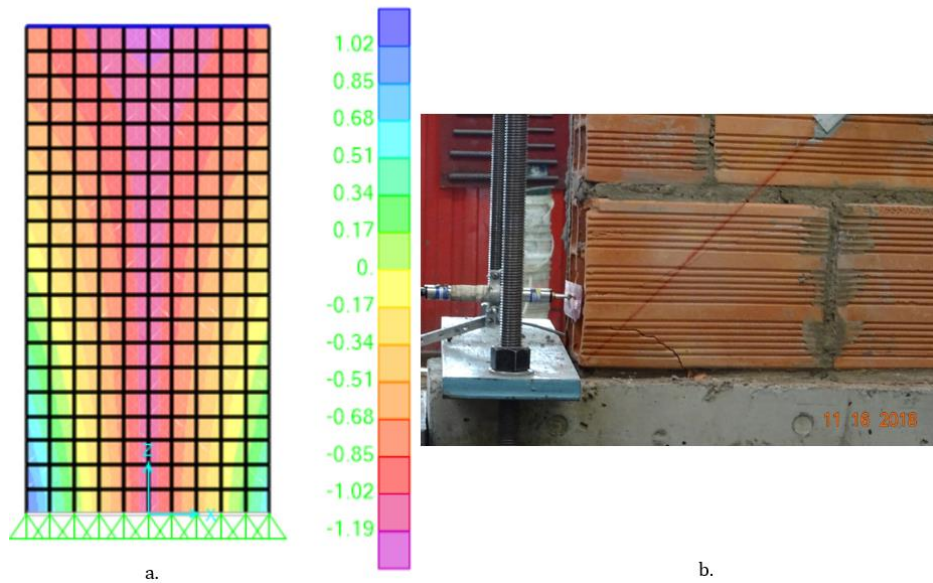


Figura 132. a. Diagrama de esfuerzos cortantes modelo SAP2000 (Unidades en MPa);  
b. Falla local en zona inferior de muro por cortante.

Al verificar la componente S11 del diagrama de esfuerzos, correspondiente a esfuerzos generados por cargas axiales se observó una concentración de esfuerzos en la zona superior del muro como se muestra en la figura 134, que se asemeja a las falla explosiva en los bloques de los muros reforzados con pañete y malla.

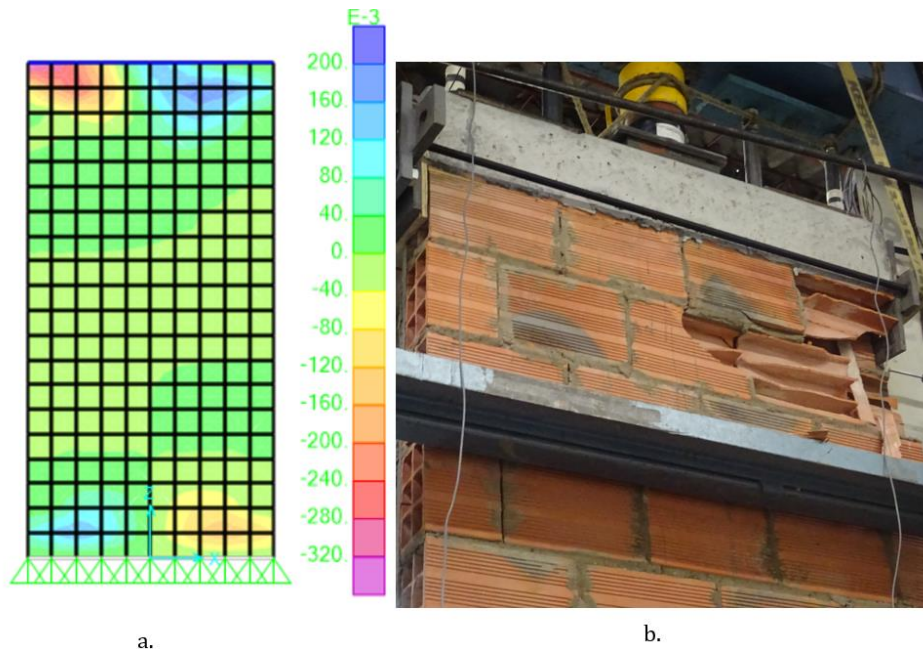


Figura 133. a. Diagrama de esfuerzos axiales modelo SAP2000 (Unidades en MPa); b. Falla local en zona superior de muro por compresión axial.

Con base los resultados obtenidos en la modelación de los muros empleando las características y propiedades obtenidas en los ensayos y la metodología de definir un muro como un elemento compuesto por capas se encontró una gran similitud entre los resultados obtenidos en laboratorio correspondientes a ensayos de carga lateral cíclica y los resultados de la modelación planteada en este capítulo.

## 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este proyecto buscaba contribuir a dar soporte analítico y experimental que sirviera para la actualización del Manual de Evaluación y Reforzamiento Sísmico para Reducción de Vulnerabilidad en Viviendas de Mampostería no Estructural de Build Change. A continuación, se presentan las conclusiones más importantes sobre los aspectos evaluados en este trabajo. Sin embargo, las decisiones finales sobre los cambios que tendrá el Manual y otras consideraciones adicionales son potestad de Build Change.

- El valor de resistencia al corte de la mampostería definido en el Manual para los cálculos de porcentaje de área de muros requerida es un valor acertado debido a que es muy similar al valor obtenido en los ensayos de compresión diagonal. Sin embargo, se debe especificar en el Manual que esta resistencia es mínima y se emplea para poder estar de lado de la seguridad en el análisis de edificaciones de MNR.
- En este trabajo se buscó representar de la mejor manera las condiciones reales que tendría un muro de una vivienda de varios pisos sometida a sollicitaciones sísmicas. De esta manera se evaluó la influencia de la carga axial, en comparación con los trabajos previos sobre este sistema estructural.
- En cuanto a los sistemas de reforzamiento, se encontró que la estrategia de aplicar mortero simple por una cara ayuda a mantener la integridad del muro y posiblemente a retrasar una falla frágil, aspectos importantes para el objetivo de preservar la vida de los ocupantes. El aumento en capacidad de carga es bajo, del orden de un 20%.
- Siguiendo con las estrategias de reforzamiento, se propuso utilizar el sistema de pañete con malla electrosoldada con un espesor de 3 cm en lugar del concreto reforzado de 6 cm que proponía el manual. El uso de mortero reforzado en una cara de los muros aporta un aumento en la rigidez y ayuda a que los muros de mampostería no pierdan la integridad al verse sometidos a cargas laterales con grandes desplazamientos lo cual genera un beneficio para los ocupantes de las viviendas durante un evento sísmico pues tienen la oportunidad de desalojar la edificación y evitar sufrir pérdidas de vidas humanas debidas a un colapso parcial o total de la estructura. La capacidad de carga aumenta en un 130% y la de deformación en un 35%. Cuando se aplica por ambas caras en una y dos caras de un muro puede resultar equivalente a tener un aumento de 130% y 180% en la longitud del muro respectivamente, generando un aumento en el porcentaje de área de muros para la edificación. Se recomienda para futuras investigaciones emplear barras de anclaje a la base de diámetro menor y con menor espaciamiento para así evitar el desprendimiento del muro en la base.
- El comportamiento fuera del plano de los muros reforzados con malla y pañete en una cara mostró que no se presentaba una pérdida de estabilidad en el muro al verse sometido a cargas que representan el empuje de tierras, sin embargo, se deben realizar estudios en los que se consideren los efectos producidos en los muros debidos a fuerzas aplicadas fuera del plano generadas por movimientos sísmicos.
- Los factores presentes en el Manual permiten la evaluación de las estructuras existentes y así se logra definir si son necesarias las estrategias de reforzamiento. El factor  $C_N$  correspondiente al ajuste por área neta del tipo de bloque se normalizó con respecto al

bloque No. 5 y se aplicó un factor de efectividad del pañete para tener en cuenta el estado actual de la mampostería al momento de su evaluación. El factor  $K_p$  se modificó con base en los resultados obtenidos en los ensayos de carga lateral cíclica encontrando un aumento representativo con respecto a los valores propuestos anteriormente en el Manual. El valor mínimo de BPAM se definió en función de la zona de amenaza sísmica y el tipo de suelo, obteniendo así las tablas presentadas en el capítulo de propuestas que facilitarían el uso y la aplicabilidad del Manual.

- En cuanto al cálculo del porcentaje de área de muros básico debe definirse en función de la ubicación de la edificación tomando como soporte los documentos de microzonificación de la ciudad de Bogotá o aquellos que sean empleados en la zona de estudio para poder establecer las características del suelo y poder obtener un valor acertado para este factor definido en el Manual.
- Al realizar el estudio del comportamiento de los muros construidos empleando el sistema de MNR se encontró que este sistema estructural presenta una serie de incertidumbres que deben seguir siendo estudiadas a fondo para poder tener una mayor certeza en cuanto al desempeño que pueda presentar una edificación conformada por este tipo de muros.
- Al emplear en la modelación las propiedades de los materiales obtenidos en los ensayos de caracterización se encontró que los resultados obtenidos se encontraron que los resultados coinciden con los ensayos experimentales de manera que se pueden emplear para futuras investigaciones de modelación de muros de MNR. Para la definición de las propiedades no lineales de los materiales se recomienda que estas sean obtenidas empleando la instrumentación suficiente para obtener de manera precisa los datos que representen el comportamiento de los materiales independientes para poder alimentar los modelos y poder establecer una comparación en cuanto a esfuerzos.
- Con base en la modelación realizada de los diferentes tipos de reforzamiento para los muros de mampostería se encontraron similitudes muy cercanas en cuanto a la magnitud de las deformaciones que se presentan debidas a cargas que actúan en el plano y a la distribución y concentración de esfuerzos en los muros que se pudieron apreciar en los ensayos de laboratorio. Se deben continuar las investigaciones teniendo en cuenta el comportamiento no lineal de todos los componentes de la mampostería para así poder establecer un modelo matemático que tenga una aproximación más certera con los resultados que se obtienen en ensayos de laboratorio.
- Para futuros ensayos e investigaciones acerca del comportamiento de muros de MNR se recomienda realizar un mayor número de ensayos para la evaluación de cada tipología de muro que se quiera estudiar, de manera que con un mayor número de datos se podrán establecer de mejor manera los resultados de laboratorio. En cuanto a la instrumentación empleada en el laboratorio se recomienda el uso de varios sistemas de medición para evitar la pérdida de información del ensayo en el caso de que algún instrumento falle. Para los ensayos de carga fuera del plano se recomienda emplear un sistema de aplicación de carga que garantice de la mejor manera la distribución de la carga aplicada en la carga del muro para así tener una mayor similitud con las sollicitaciones en un muro real.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca Torres, H. (2018). De la piedra de Ruskin al adobe de Velarde: Investigación y Desarrollo (I+D) en la conservación del patrimonio edificado peruano. La Cátedra Bruno Roselli como modelo de colaboración público, privado y académico. *Devenir - Revista de Estudios Sobre Patrimonio Edificado*, 4(8), 49. <https://doi.org/10.21754/devenir.v4i8.155>
- Ahmad, N., Ali, Q., Ashraf, M., Naeem, A., & Alam, B. (2012). Seismic performance evaluation of reinforced plaster retrofitting technique for low-rise block masonry structures. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 5(2), 193–205.
- AIS. (2004). Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sísmo resistente de viviendas de mampostería.
- Aosmhor, A. (2014). Clay Mortars for Masonry Buildings. *Information for Historic Building Owners*, 1–16.
- Ariza, N. M. (2010). Radiografía de la vivienda ilegal. Retrieved from Radiografía de la vivienda ilegal website: <https://www.elespectador.com/impreso/bogota/articuloimpreso-217480-radiografia-de-vivienda-ilegal>
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Regla, 130.
- Babaeidarabad, S., De Caso, F., & Nanni, A. (2014). URM walls strengthened with fabric-reinforced cementitious matrix composite subjected to diagonal compression. *Journal of Composites for Construction*, 18(2), 1–9. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000441](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000441)
- Bakhteri, J., Makhtar, A. M., & Sambasivam, S. (2007). Finite Element Modelling of Structural Clay. *Teknologi*, 41, 57–68.
- Baqueiro, F., Gómez, M., Rivera, V., & Marín, J. V. (2009). Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto Determination of the diagonal compressive strength and the shear modulus of masonry constructed with hollow concrete blocks. 2, 41–50.
- BuildChange. (2015). Manual de Evaluación y Reforzamiento Sísmico para Reducción de Vulnerabilidad en Viviendas. 2(1).
- Cano, L., Monsalve, H., Agudelo, J., Upegui, F., & Jaramillo, J. (1997). Metodología para la Evaluación del Riesgo Sísmico de Pequeñas y Medianas Ciudades. Estudio de Caso: Zona Centro de la Ciudad de Armenia-Colombia. 5(1), 3–20.
- Carrillo, J., Pincheira, J. A., & Flores, L. E. (2020). Quasi-static cyclic tests of confined masonry walls retrofitted with mortar overlays reinforced with either welded-wire mesh or steel fibers. *Journal of Building Engineering*, 27(January), 100975. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100975>
- Churilov, S., & Dumova-Jovanoska, E. (2012). Analysis of masonry walls strengthened with RC jackets. 15th World Conference on .... Retrieved from [http://ktk.gf.ukim.edu.mk/documents/Clenovi/Sergey Churilov/WCEE2012\\_1074.pdf](http://ktk.gf.ukim.edu.mk/documents/Clenovi/Sergey%20Churilov/WCEE2012_1074.pdf)
- Congreso de la República de Colombia. (1997). Ley 400 de 1997. Congreso de La República de Colombia, 1997(43), 28. Retrieved from [http://www.epc.com.co/docs/ley\\_400\\_de\\_1997.pdf](http://www.epc.com.co/docs/ley_400_de_1997.pdf)
- CONRED. (2000). Manual de refuerzo de viviendas de adobe (p. 22). p. 22.
- D'Ayala, D., & Speranza, E. (2003). Definition of Collapse Mechanisms and Seismic Vulnerability of Historic Masonry Buildings. *Earthquake Spectra*, 19(3), 479–509. <https://doi.org/10.1193/1.1599896>
- DANE. (2005). Censo general del 2005. In DANE.

Doherty, K. T. (2000). An investigation of the weak links in the seismic load path of unreinforced masonry buildings. (May), 354.

E.D. Bastidas, L.F. Molina, L. Yamin, A.Sarria, J. P. O. (1999). Non-Structural Masonry Wall Strengthened with GFRP Laminas. 4–12. Retrieved from <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/viewFile/508/690>

FEMA. (2000). Seismic Performance Assessment of Buildings. 1(September).

FEMA. (2009). Unreinforced Masonry Buildings and Earthquakes. Developing successful risk reduction programs. FEMA P-774. Buildings, (October), 53.

FEMA461. (2007). Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components. (June).

FOPAE. (2011). Escenario de daños en Bogotá por un sismo de la falla frontal de magnitud 7,0. Fondo de Prevención y Atención de Emergencia-Grupo Escenario de Daños, 1–41. Retrieved from <http://www.sire.gov.co/documents/12134/43764/Escenario+sismo+Magnitud+7.0+de+la+Falla+Frontal.pdf/99bf1555-291d-4ae6-8e7e-3fb90437776e>

Giuffre, A. C. . C. (1989). A MECHANICAL MODEL FOR STATICS AND DYNAMICS OF HISTORICAL MASONRY BUILDINGS. XV Regional Seminar on Earthquake Engineering.

Guiqiu, L., & Chuxian, S. (1997). The Shear Strength of Unreinforced Masonry. (October), 14–16.

Haach, V. G., Vasconcelos, G., & Lourenço, P. B. (2011). Parametrical study of masonry walls subjected to in-plane loading through numerical modeling. *Engineering Structures*, 33(4), 1377–1389. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.01.015>

ICONTEC. (2003). NTC-3495 Método de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Compresión de Muretes de Mampostería.

ICONTEC. NTC-4017 Métodos Para Muestreo y Ensayos de Unidades de Mampostería y Otros Productos de Arcilla. , (2005).

Industry Association, B. (1992). Brick Masonry Material Properties. 216(December).

Ingham, J., & Griffith, M. (2011). Performance of unreinforced masonry buildings during the 2010 darfi eld (Christchurch, NZ) earthquake. *Australian Journal of Structural Engineering*, 11(3), 207–224. <https://doi.org/10.1080/13287982.2010.11465067>

L. Cimitan, P. Rossi, G. T. (2008). EXPERIMENTS ON THE DISAGGREGATION OF MORTAR AND CONCRETE. 612–619.

López, G., & Pérez, D. (2017). Análisis Del Comportamiento Mecánico Del Mortero De Pega En Función De Las Dosificaciones Por Proporción Establecidas En El Título D De La Nsr-10 Gehidert. 1–146.

López, N. (2016). Supplementary material p. 1. 1–26.

López, S. (2013). EVALUACIÓN ANALÍTICA Y EXPERIMENTAL DE MUROS DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA Y REFORZADA EXTERNAMENTE CON MORTERO Y MALLA ELECTROSOLDADA. 498–520.

Meli, R., Gallegos, H., Vasconsuelos, D., Sánchez, T., de la Torre, O., Miranda, E., ... Duarte, S. (1999). Edificaciones de mampostería para vivienda. 316. <https://doi.org/38905571>

Orhon, A. V. (2012). Retrofit to Preserve: Review of Seismic Retrofitting Methods for Historical URM Buildings. 2Structural Analysis of Historical Constructions.

Oyarzo-Vera, C., & Griffith, M. C. (2009). The Mw 6.3 Abruzzo (Italy) earthquake of april 6TH, 2009: On site observations. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 42(4), 302–307.

Oyguc, R., & Oyguc, E. (2017). 2011 Van Earthquakes: Lessons from Damaged Masonry Structures. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 31(5). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001057](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001057)

Priestley, P. &. (1992). Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings.



R. Drysdale, A. Hamid, L. B. (1994). *Masonry Structures Behaviour and Design*.

S. Alcocer, J Ruiz, J. Pineda, A. Z. (1996). *Retrofitting of Confined Masonry Walls With Welded Wire Mesh*.

S. Jain, S. Brzev, L. B. (2015). *Confined Masonry for Residential Construction*.

Secondin, S. (2003). *Masonry Reinforced with FRP Systems*. CENTER FOR INFRASTRUCTURE Engineering.

Shahzada, K., Khan, A. N., Elnashai, A. S., Ashraf, M., Javed, M., Naseer, A., & Alam, B. (2012). Experimental seismic performance evaluation of unreinforced brick masonry buildings. *Earthquake Spectra*, 28(3), 1269–1290. <https://doi.org/10.1193/1.4000073>

Sharma, A., & Khare, R. (2016). Pushover Analysis for Seismic Evaluation of Masonry Wall. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 5(3), 235–240. <https://doi.org/10.18178/ijscer.5.3.235-240>

Still, G. T. (2004). Strength of cementitious mortars: a literature review with special reference to weak mortars in tension. 1–25. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036356>

Takeuchi, C. P. (2017). *Diseño de vigas y muros en mampostería reforzada*.

Torunbalci, N., Ediz, I., & Sutcu, F. (2009). One side strengthening of masonry walls with self-compacting concrete. *WIT Transactions on the Built Environment*, 109, 441–452. <https://doi.org/10.2495/STR090391>

Vaculik, J. (2012). Unreinforced masonry walls subjected to out-of-plane seismic actions: Part 1. 30.

Vega, C. (2015). *Comportamiento dinámico de muros de mampostería no estructural reforzados mediante polímeros reforzados con fibra de carbono, CFRP*. 228.

Wijanto, L. S. (2007). *Seismic Assessment of Unreinforced Masonry Walls*. University of Canterbury.

Xingzhi, C. (1991). Shear strength of brick masonry with reinforced networks in bed joints subject to combined actions. *Proceedings of 9th International Brick/Block Masonry Conference*, 1(9), 458–464. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Zhou, D., Zhou, S., & Lei, Z. (2016). In-Plane Shear Behaviors of Constrained Masonry Walls Externally Retrofitted with BFRP. *Journal of Composites for Construction*, 20(2), 1–12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000629](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000629)

## 12. ANEXOS



**ANEXO 1**  
**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE DOCUMENTOS EN EL REPOSITORIO**  
**COLECCIONES DIGITALES DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA**  
**JULIO GARAVITO**

Fecha **29** **01** **2020**

1. Datos de la publicación (trabajo de grado, artículo, video, conferencia, libro, imagen, fotografía, audio, presentación u otros) y del (los) autor(es)

Documento de Identidad		Apellidos	Nombres	Correo electrónico
Tipo	Número			
C.C	1.020.782.313	TORRES LEÓN	JUAN FELIPE	juan.torres-leo@mail.escuelaing.edu.co

<b>Título del Documento</b>	Propuesta de Actualización Parcial del Manual de Evaluación y Reforzamiento Sísmico para Reducción de Vulnerabilidad en Viviendas de Mampostería no Estructural de Build Change
<b>Nombre del evento origen (si aplica)</b>	
<b>Fecha del evento (si aplica)</b>	
<b>Palabras claves</b>	

Acuerdos de confidencialidad: No Tiene Acuerdo(s)  Tiene Acuerdo(s)   
(Si tiene acuerdos de confidencialidad, por favor diligencie el siguiente cuadro)

Persona jurídica o natural	Desde			Hasta		
	DD	MM	AAAA	DD	MM	AAAA





## ANEXO 1

# AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE DOCUMENTOS EN EL REPOSITORIO COLECCIONES DIGITALES DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO

### 2. Autorización de publicación de documentos en el Repositorio Institucional

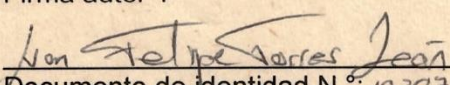
Autorizo a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito para publicar el trabajo de grado, artículo, video, conferencia, libro, imagen, fotografía, audio, presentación u otro (en adelante documento) que en la fecha entrego en formato digital, y le permito de forma indefinida que lo publique en el repositorio institucional, en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, la Ley 44 de 1993, y demás leyes y jurisprudencia vigente al respecto, para fines educativos y no lucrativos. Esta autorización es válida para las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato digital, electrónico, virtual; y para usos en redes, internet, extranet, y cualquier formato o medio conocido o por conocer.

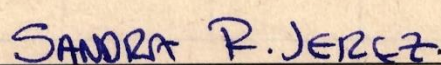
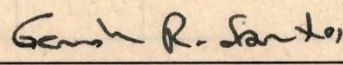
En mi calidad de autor, expreso que el documento objeto de la presente autorización es original y lo elaboré sin quebrantar ni suplantar los derechos de autor de terceros. Por lo tanto, es de mi exclusiva autoría y, en consecuencia, tengo la titularidad sobre él. En caso de queja o acción por parte de un tercero referente a los derechos de autor sobre el documento en cuestión, asumiré la responsabilidad total y saldré en defensa de los derechos aquí autorizados. Esto significa que, para todos los efectos, la Escuela actúa como un tercero de buena fe.

Toda persona que consulte el Repositorio Institucional de la Escuela, el Catálogo en línea u otro medio electrónico, podrá copiar apartes del texto, con el compromiso de citar siempre la fuente, la cual incluye el título del trabajo y el autor. Esta autorización no implica renuncia a la facultad que tengo de publicar total o parcialmente la obra en otros medios.

Esta autorización está respaldada por las firmas del (los) autor(es) del documento.

Sí autorizo (amos)

3. Firmas de autor(es)	
Firma autor 1  Documento de identidad N.º: 1020782313	Firma autor 2 _____ Documento de identidad N.º: _____
Firma autor 3 _____ Documento de identidad N.º: _____	Firma autor 4 _____ Documento de identidad N.º: _____

4. Firmas de aprobación	
Director del Trabajo de Grado  Documento de identidad N.º: _____	Director del Programa (Si aplica)  Documento de identidad N.º: 79144656



## 12.1 RESULTADOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN

### 12.1.1 CARACTERIZACIÓN DE MORTERO MEDIANTE ENSAYO DE DESAGREGACIÓN

DESAGREGACIÓN MORTERO									
FASE 1 - MUESTRA A (GRIS)							PROMEDIO		
TOTAL	15	100.00%	15.13	100.00%	15	100.00%	100.00%	MORTERO	100.00%
RETENIDO	13.93	92.87%	14.11	93.26%	13.75	91.67%	92.60%	ARENA	92.60%
PASA	0.86	5.73%	0.88	5.82%	1.05	7.00%	6.18%	CEMENTO	7.40%
PÉRDIDA	0.21	1.40%	0.14	0.93%	0.2	1.33%	1.22%		
FASE 2 - MUESTRA A (GRIS)					PROMEDIO		DOSIFICACIÓN		
TOTAL	1	100.00%	1	100.00%	100.00%	MORTERO	CEMENTO	23.54%	1
RETENIDO	0.8257	82.57%	0.9137	91.37%	82.57%	ARENA	ARENA	76.46%	3.2
PASA	0.1743	17.43%	0.0863	8.63%	17.43%	CEMENTO			
FASE 1 - MUESTRA B (AMARILLA)							PROMEDIO		
TOTAL	15	100.00%	15	100.00%	15	100.00%	100.00%	MORTERO	100.00%
RETENIDO	14.21	94.73%	14.17	94.47%	13.9	92.67%	94.60%	ARENA	94.60%
PASA	0.66	4.40%	0.68	4.53%	0.89	5.93%	4.47%	CEMENTO	5.40%
PÉRDIDA	0.13	0.87%	0.15	1.00%	0.21	1.40%	0.93%		
FASE 2 - MUESTRA B (AMARILLA)					PROMEDIO		DOSIFICACIÓN		
TOTAL	1	100.00%	1	100.00%	100.00%	MORTERO	CEMENTO	21.60%	1
RETENIDO	0.8323	83.23%	0.8253	82.53%	82.88%	ARENA	ARENA	78.40%	3.6
PASA	0.1677	16.77%	0.1747	17.47%	17.12%	CEMENTO			
FASE 1 - MUESTRA C (AMARILLA)							PROMEDIO		
TOTAL	15	100.00%	15	100.00%	15	100.00%	100.00%	MORTERO	100.00%
RETENIDO	13.57	90.47%	14.17	94.47%	13.9	92.67%	92.47%	ARENA	92.47%
PASA	0.74	4.93%	0.68	4.53%	0.89	5.93%	4.73%	CEMENTO	7.53%
PÉRDIDA	0.69	4.60%	0.15	1.00%	0.21	1.40%	2.80%		
FASE 2 - MUESTRA C (AMARILLA)					PROMEDIO		DOSIFICACIÓN		
TOTAL	1	100.00%	1	100.00%	100.00%	MORTERO	CEMENTO	25.17%	1
RETENIDO	0.8145	81.45%	0.8041	80.41%	80.93%	ARENA	ARENA	74.83%	3.0
PASA	0.1855	18.55%	0.1959	19.59%	19.07%	CEMENTO			

### 12.1.2 COMPRESIÓN EN CILINDROS DE MORTERO DE PEGA

MUESTRA	FECHA	# MUESTRA	DIAS	CARGA [KG]	RESISTENCIA		PROM	
					kg/cm2	MPa	kg/cm2	Mpa
M1	13-jul	1	3	492	30.94	3.03	44.43327	4.358818
		2		845.5	53.16	5.22		
		3		782.5	49.20	4.83		
		4	14	1548.5	97.37	9.55	99.85957	9.796033
		5		1604	100.86	9.89		
		6		1612	101.36	9.94		
		7	28	2501.5	157.29	15.43	157.256	15.42652
		8		2489	156.50	15.35		
		9		2512.5	157.98	15.50		
M2	18-jul	1	7	1260	79.23	7.77	82.24346	8.067926
		2		1357	85.32	8.37		
		3		1307	82.18	8.06		
		4	14	1728	108.65	10.66	97.61695	9.576036
		5		1377	86.58	8.49		
		6		-	-	-		
		7	28	-	-	-	-	-
		8		-	-	-		
		9		-	-	-		
M3	25-jul	1	7	1141	71.74	7.04	69.09163	6.777757
		2		1113	69.98	6.87		
		3		1042.5	65.55	6.43		
		4	14	1510	94.94	9.31	100.3312	9.842294
		5		1680	105.63	10.36		
		6		1597	100.41	9.85		
		7	28	2256.5	141.88	13.92	136.8838	13.42804
		8		2065	129.84	12.74		
		9		2209.5	138.93	13.63		
M4	31-jul	1	7	862	54.20	5.32	53.88581	5.286095
		2		914	57.47	5.64		
		3		795	49.99	4.90		
		4	14	1070.5	67.31	6.60	65.91633	6.466266
		5		1063	66.84	6.56		
		6		1011.5	63.60	6.24		
		7	28	2145	134.87	13.23	132.7968	13.02711
		8		2087	131.22	12.87		
		9		2104	132.29	12.98		

### 12.1.3 OMPRESIÓN EN CILINDROS DE MORTERO DE PAÑETE

MUESTRA	CILINDRO	DIAS	CARGA	RESISTENCIA		PROM	
				kg/cm2	MPa	kg/cm2	MPa
1	1	7	1186	74.57	7.32	75.41	7.40
	2		1204	75.70	7.43		
	3		1192	74.95	7.35		
	4		1215	76.40	7.49		
	1	14	1547	97.27	9.54	99.44	9.75
	2		1565	98.40	9.65		
	3		1604	100.86	9.89		
	4		1610	101.23	9.93		
	1	28	2145	134.87	13.23	133.77	13.12
	2		2213	139.15	13.65		
	3		2087	131.22	12.87		
	4		2065	129.84	12.74		
2	1	7	1247	78.41	7.69	73.71	7.23
	2		1165	73.25	7.19		
	3		1140	71.68	7.03		
	4		1137	71.49	7.01		
	1	14	1489	93.62	9.18	94.71	9.29
	2		1493	93.88	9.21		
	3		1504	94.57	9.28		
	4		1539	96.77	9.49		
	1	28	1846	116.07	11.39	120.76	11.85
	2		1943	122.17	11.98		
	3		1891	118.90	11.66		
	4		2002	125.88	12.35		
3	1	7	1341	84.32	8.27	76.19	7.47
	2		1208	75.96	7.45		
	3		1148	72.18	7.08		
	4		1150	72.31	7.09		
	1	14	1689	106.20	10.42	104.58	10.26
	2		1653	103.94	10.20		
	3		1674	105.26	10.33		
	4		1637	102.93	10.10		
	1	28	1987	124.94	12.26	135.17	13.26
	2		2154	135.44	13.29		
	3		2248	141.35	13.87		
	4		2210	138.96	13.63		
4	1	7	1236	77.72	7.62	74.93	7.35
	2		1158	72.81	7.14		
	3		1265	79.54	7.80		
	4		1108	69.67	6.83		
	1	14	1547	97.27	9.54	96.74	9.49
	2		1625	102.18	10.02		
	3		1495	94.00	9.22		
	4		1487	93.50	9.17		
	1	28	2214	139.21	13.66	135.69	13.31
	2		2054	129.15	12.67		
	3		2210	138.96	13.63		
	4		2154	135.44	13.29		



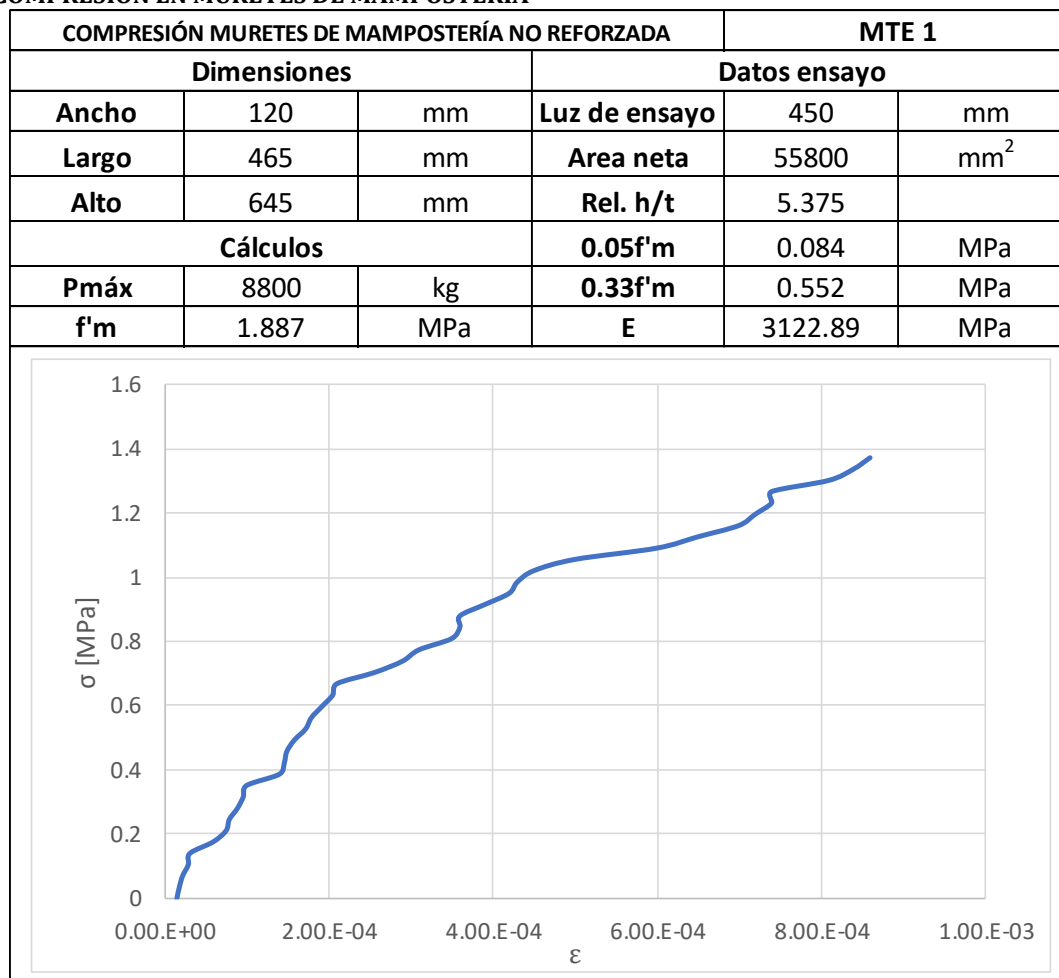
### 12.1.4 ABSORCIÓN EN UNIDADES DE MAMPOSTERÍA – BLOQUE NO. 5

MUESTRA	Peso seco	Peso saturado	Absorción
	[kg]	[kg]	[%]
1	4588	5070	10.5%
2	4598	5084	10.6%
3	4576	5096	11.4%
4	4614	5138	11.4%
5	4584	5090	11.0%

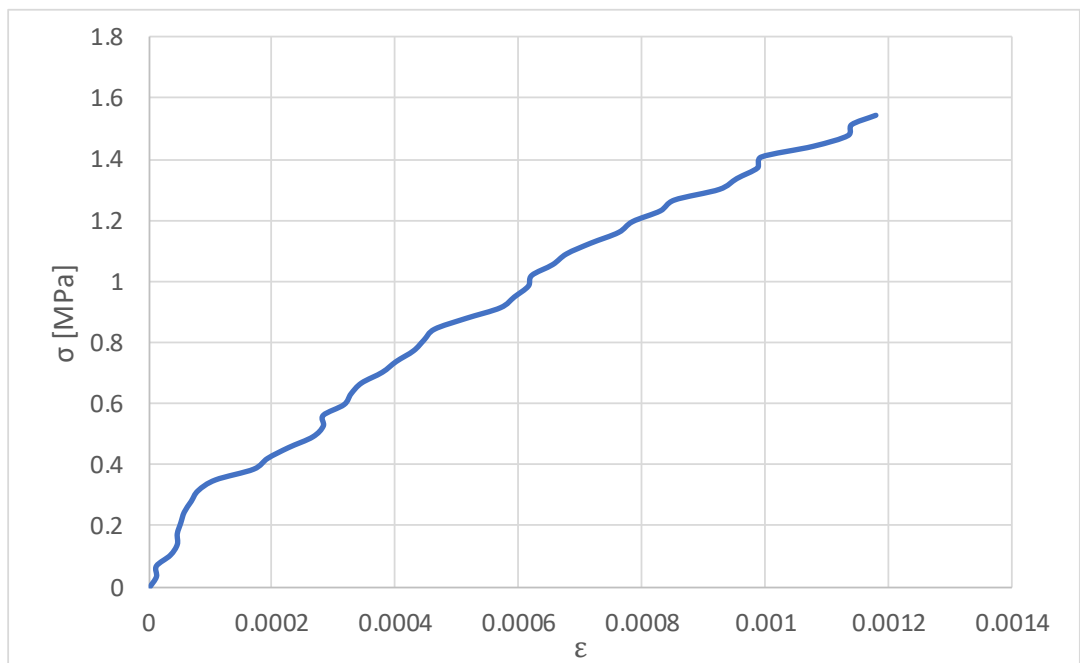
### 12.1.5 COMPRESIÓN EN UNIDADES DE MAMPOSTERÍA – BLOQUE NO. 5

MUESTRA	DIMENSIONES [cm]			Area bruta	Area vacios	[%]	Area neta	Carga	f'cu	
	Alto	Largo	Ancho	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]		[cm <sup>2</sup> ]	[kg]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[Mpa]
1	20.6	30.1	11.8	355.18	270.9	31%	244.68	16200	45.61	4.47
2	20	29.9	12	358.8	269.1	33%	239.20	11500	32.05	3.14
3	20	29.9	12.1	361.79	269.1	34%	237.17	11400	31.51	3.09
4	20.2	29.9	12.1	361.79	269.1	34%	237.17	11600	32.06	3.14
5	20.2	30.1	12.1	364.21	270.9	34%	238.76	11400	31.30	3.07

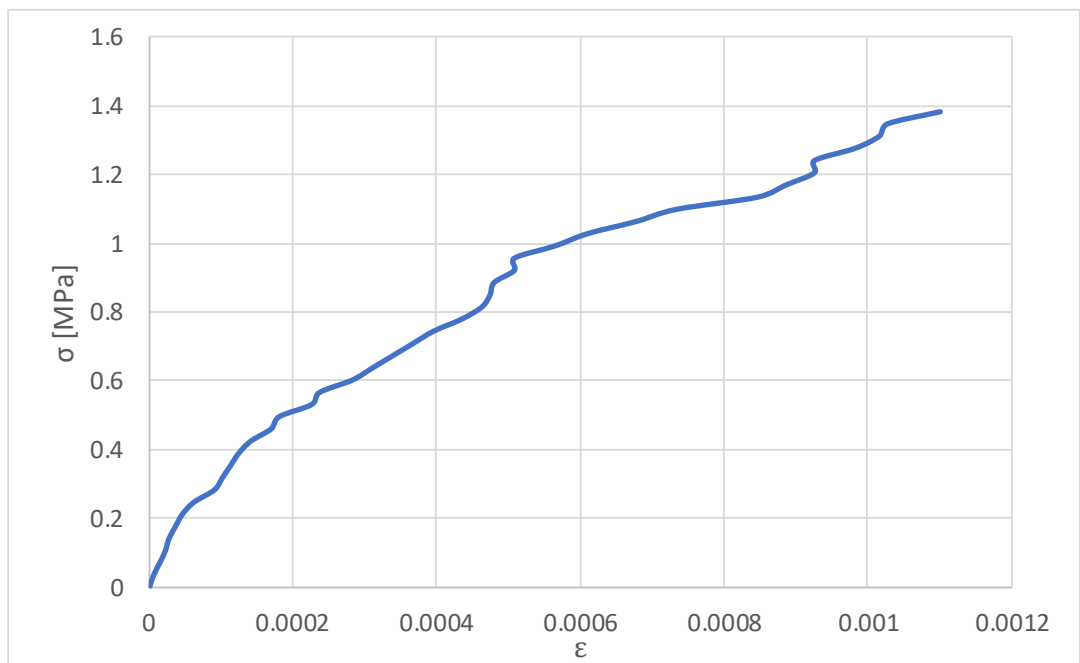
### 12.1.6 COMPRESIÓN EN MURETES DE MAMPOSTERÍA



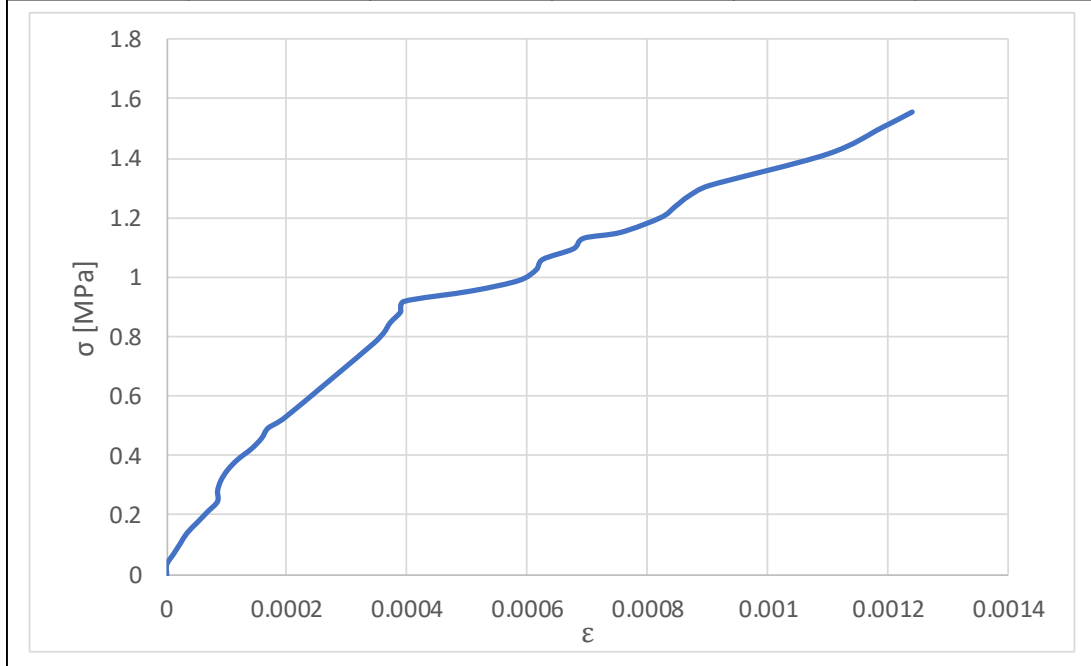
COMPRESIÓN MURETES DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA			MTE 2		
Dimensiones			Datos ensayo		
<b>Ancho</b>	120	mm	<b>Luz de ensayo</b>	450	mm
<b>Largo</b>	465	mm	<b>Area neta</b>	55800	mm <sup>2</sup>
<b>Alto</b>	650	mm	<b>Rel. h/t</b>	0	
<b>Cálculos</b>			<b>0.05f'm</b>	0.094	MPa
<b>Pmáx</b>	8776	kg	<b>0.33f'm</b>	0.621	MPa
<b>f'm</b>	1.882	MPa	<b>E</b>	1795.66	MPa



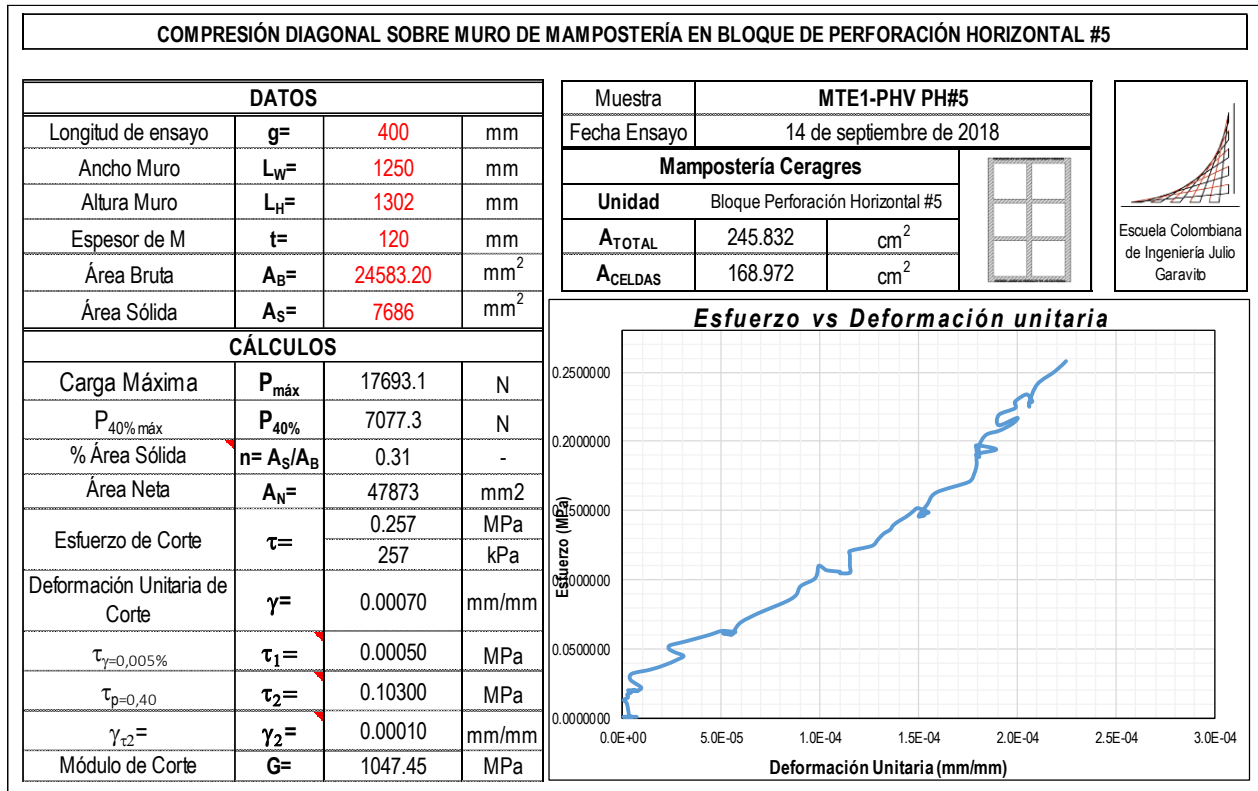
COMPRESIÓN MURETES DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA			MTE 3		
Dimensiones			Datos ensayo		
Ancho	120	mm	Luz de ensayo	450	mm
Largo	461	mm	Area neta	55320	mm <sup>2</sup>
Alto	648	mm	Rel. h/t	5.4	
Cálculos			0.05f'm	0.084	MPa
P <sub>máx</sub>	7800	kg	0.33f'm	0.557	MPa
f'm	1.687	MPa	E	2119.24	MPa



COMPRESIÓN MURETES DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA			MTE 4		
Dimensiones			Datos ensayo		
<b>Ancho</b>	120	mm	<b>Luz de ensayo</b>	450	mm
<b>Largo</b>	463	mm	<b>Area neta</b>	55560	mm <sup>2</sup>
<b>Alto</b>	645	mm	<b>Rel. h/t</b>	0	
<b>Cálculos</b>			<b>0.05f'm</b>	0.000	MPa
<b>Pmáx</b>	8800	kg	<b>0.33f'm</b>	0.035	MPa
<b>f'm</b>	0.071	MPa	<b>E</b>	0.09	MPa

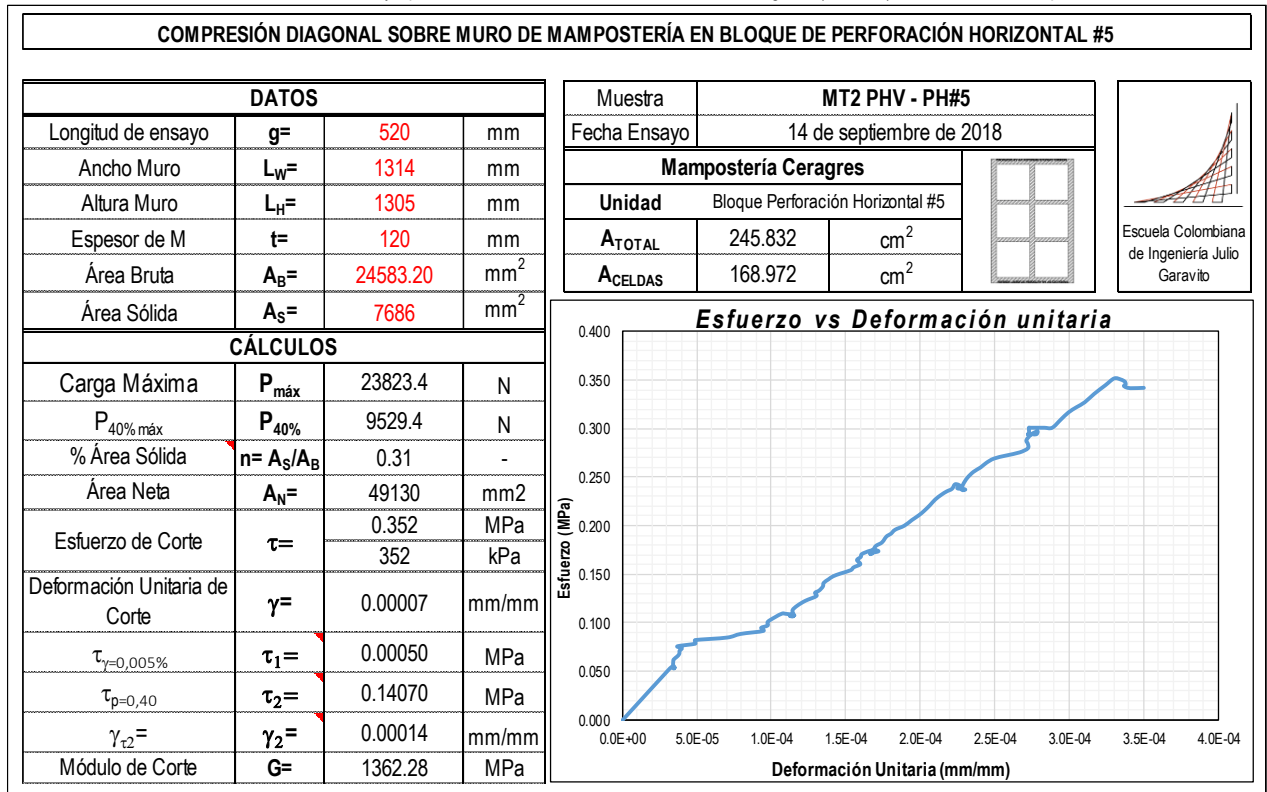


## 12.2 ENSAYOS DE COMPRESIÓN DIAGONAL



ASTM E519/E519M-15: Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages

NTC 4925-01: Prefabricados de Concreto. Método de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Tracción Diagonal (Cortante) en Muretes de Mampostería



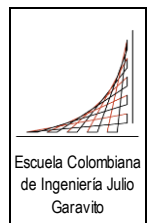
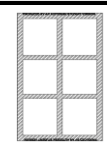
ASTM E519/E519M-15: Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages

NTC 4925-01: Prefabricados de Concreto. Método de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Tracción Diagonal (Cortante) en Muretes de Mampostería

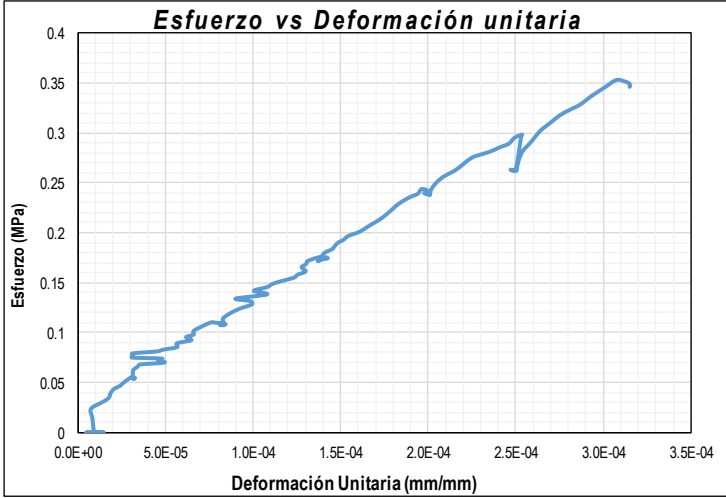
**COMPRESIÓN DIAGONAL SOBRE MURO DE MAMPOSTERÍA EN BLOQUE DE PERFORACIÓN HORIZONTAL #5**

DATOS			
Longitud de ensayo	g=	500	mm
Ancho Muro	L <sub>W</sub> =	1215	mm
Altura Muro	L <sub>H</sub> =	1302	mm
Espesor de M	t=	120	mm
Área Bruta	A <sub>B</sub> =	24583.20	mm <sup>2</sup>
Área Sólida	A <sub>S</sub> =	7686	mm <sup>2</sup>

Muestra	MT3 PHV - PH#5	
Fecha Ensayo	14 de septiembre de 2018	
<b>Mampostería Ceragres</b>		
Unidad	Bloque Perforación Horizontal #5	
A <sub>TOTAL</sub>	245.832	cm <sup>2</sup>
A <sub>CELDA</sub>	168.972	cm <sup>2</sup>



CÁLCULOS			
Carga Máxima	P <sub>máx</sub>	23880.3	N
P <sub>40% máx</sub>	P <sub>40%</sub>	9552.1	N
% Área Sólida	n= A <sub>S</sub> /A <sub>B</sub>	0.31	-
Área Neta	A <sub>N</sub> =	47217	mm <sup>2</sup>
Esfuerzo de Corte	τ=	0.353	MPa
		353	kPa
Deformación Unitaria de Corte	γ=	0.00070	mm/mm
τ <sub>γ=0,005%</sub>	τ <sub>1</sub> =	0.00050	MPa
τ <sub>p=0,40</sub>	τ <sub>2</sub> =	0.14107	MPa
γ <sub>τ2</sub> =	γ <sub>2</sub> =	0.00011	mm/mm
Módulo de Corte	G=	1361.60	MPa



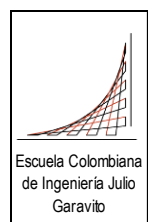
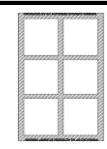
ASTM E519/E519M-15: Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages

NTC 4925-01: Prefabricados de Concreto. Método de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Tracción Diagonal (Cortante) en Muretes de Mampostería

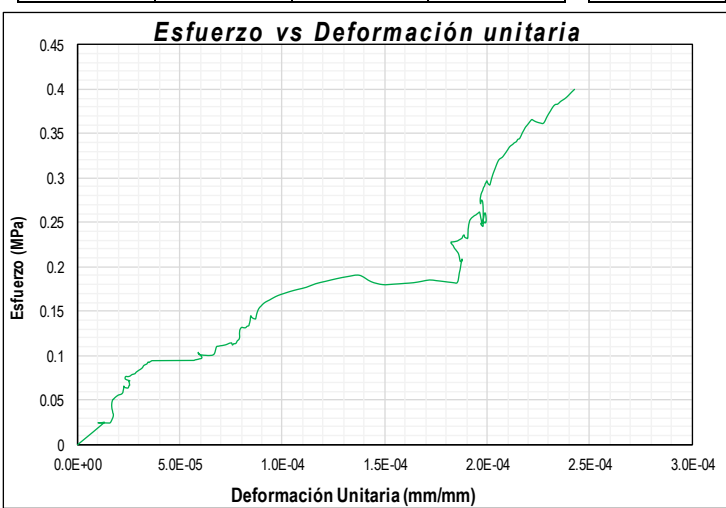
**COMPRESIÓN DIAGONAL SOBRE MURO DE MAMPOSTERÍA EN BLOQUE DE PERFORACIÓN HORIZONTAL #5**

DATOS			
Longitud de ensayo	g=	510.5	mm
Ancho Muro	L <sub>W</sub> =	1280	mm
Altura Muro	L <sub>H</sub> =	1233	mm
Espesor de M	t=	121	mm
Área Bruta	A <sub>B</sub> =	24583.2	mm <sup>2</sup>
Área Sólida	A <sub>S</sub> =	7686	mm <sup>2</sup>

Muestra	MT4 PHV B#5	
Fecha Ensayo	14 de septiembre de 2018	
<b>Mampostería Ceragres</b>		
Unidad	Bloque Perforación Horizontal #5	
A <sub>TOTAL</sub>	245.832	cm <sup>2</sup>
A <sub>CELDA</sub>	168.972	cm <sup>2</sup>



CÁLCULOS			
Carga Máxima	P <sub>máx</sub>	40347.6	N
P <sub>40% máx</sub>	P <sub>40%</sub>	16139.0	N
% Área Sólida	n= A <sub>S</sub> /A <sub>B</sub>	0.31	-
Área Neta	A <sub>N</sub> =	47525	mm <sup>2</sup>
Esfuerzo de Corte	τ=	0.600	MPa
		600	kPa
Deformación Unitaria de Corte	γ=	0.00031	mm/mm
τ <sub>γ=0,005%</sub>	τ <sub>1</sub> =	0.00050	MPa
τ <sub>p=0,40</sub>	τ <sub>2</sub> =	0.15900	MPa
γ <sub>τ2</sub> =	γ <sub>2</sub> =	0.00009	mm/mm
Módulo de Corte	G=	2048.95	MPa



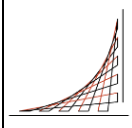
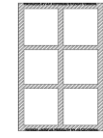
ASTM E519/E519M-15: Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages

NTC 4925-01: Prefabricados de Concreto. Método de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Tracción Diagonal (Cortante) en Muretes de Mampostería

**COMPRESIÓN DIAGONAL SOBRE MURO DE MAMPOSTERÍA EN BLOQUE DE PERFORACIÓN HORIZONTAL #5**

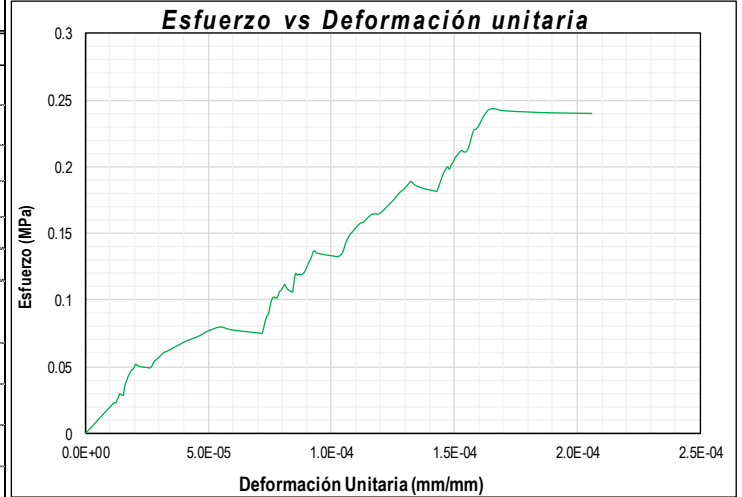
DATOS			
Longitud de ensayo	$g=$	500	mm
Ancho Muro	$L_W=$	1304	mm
Altura Muro	$L_H=$	1232	mm
Espesor de M	$t=$	120	mm
Área Bruta	$A_B=$	24583.2	mm <sup>2</sup>
Área Sólida	$A_S=$	7686	mm <sup>2</sup>

Muestra	MT5 PHV B#5	
Fecha Ensayo	14 de septiembre de 2018	
<b>Mampostería Ceragres</b>		
Unidad	Bloque Perforación Horizontal #5	
$A_{TOTAL}$	245.832	cm <sup>2</sup>
$A_{CELDA}$	168.972	cm <sup>2</sup>



Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

CÁLCULOS			
Carga Máxima	$P_{m\acute{a}x}$	19471.4	N
$P_{40\%m\acute{a}x}$	$P_{40\%}$	7788.6	N
% Área Sólida	$n= A_S/A_B$	0.31	-
Área Neta	$A_N=$	47573	mm <sup>2</sup>
Esfuerzo de Corte	$\tau=$	0.244	MPa
		244	kPa
Deformación Unitaria de Corte	$\gamma=$	0.00018	mm/mm
$\tau_{\gamma=0,005\%}$	$\tau_1=$	0.09750	MPa
$\tau_{p=0,40}$	$\tau_2=$	0.24388	MPa
$\gamma_{\tau_2=}$	$\gamma_2=$	0.00008	mm/mm
Módulo de Corte	$G=$	1512.10	MPa



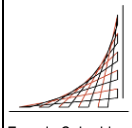
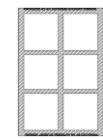
ASTM E519/E519M-15: Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages

NTC 4925-01: Prefabricados de Concreto. Método de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Tracción Diagonal (Cortante) en Muretes de Mampostería

**COMPRESIÓN DIAGONAL SOBRE MURO DE MAMPOSTERÍA EN BLOQUE DE PERFORACIÓN HORIZONTAL #5**

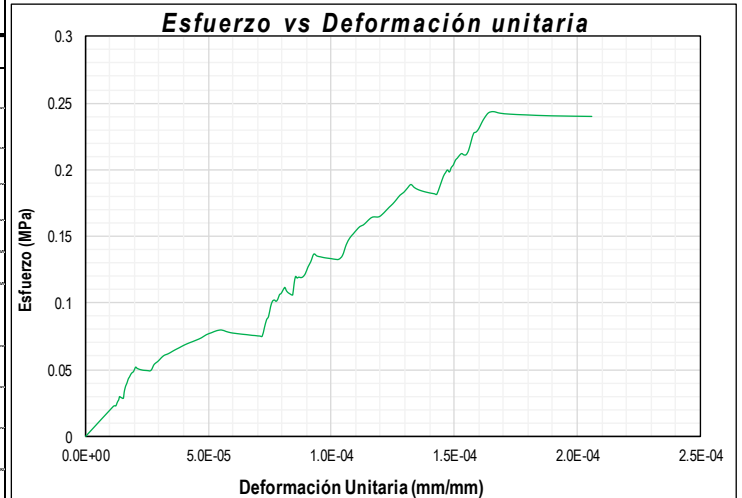
DATOS			
Longitud de ensayo	$g=$	500	mm
Ancho Muro	$L_W=$	1304	mm
Altura Muro	$L_H=$	1232	mm
Espesor de M	$t=$	120	mm
Área Bruta	$A_B=$	24583.2	mm <sup>2</sup>
Área Sólida	$A_S=$	7686	mm <sup>2</sup>

Muestra	MT2 SPV B#5	
Fecha Ensayo	14 de septiembre de 2018	
<b>Mampostería Ceragres</b>		
Unidad	Bloque Perforación Horizontal #5	
$A_{TOTAL}$	245.832	cm <sup>2</sup>
$A_{CELDA}$	168.972	cm <sup>2</sup>



Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

CÁLCULOS			
Carga Máxima	$P_{m\acute{a}x}$	19471.4	N
$P_{40\%m\acute{a}x}$	$P_{40\%}$	7788.6	N
% Área Sólida	$n= A_S/A_B$	0.31	-
Área Neta	$A_N=$	47573	mm <sup>2</sup>
Esfuerzo de Corte	$\tau=$	0.244	MPa
		244	kPa
Deformación Unitaria de Corte	$\gamma=$	0.00018	mm/mm
$\tau_{\gamma=0,005\%}$	$\tau_1=$	0.09750	MPa
$\tau_{p=0,40}$	$\tau_2=$	0.24388	MPa
$\gamma_{\tau_2=}$	$\gamma_2=$	0.00008	mm/mm
Módulo de Corte	$G=$	1512.10	MPa



ASTM E519/E519M-15: Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages

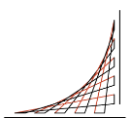
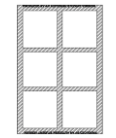
NTC 4925-01: Prefabricados de Concreto. Método de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Tracción Diagonal (Cortante) en Muretes de Mampostería



**COMPRESIÓN DIAGONAL SOBRE MURO DE MAMPOSTERÍA EN BLOQUE DE PERFORACIÓN HORIZONTAL #5 SIN PEGA VERTICAL**

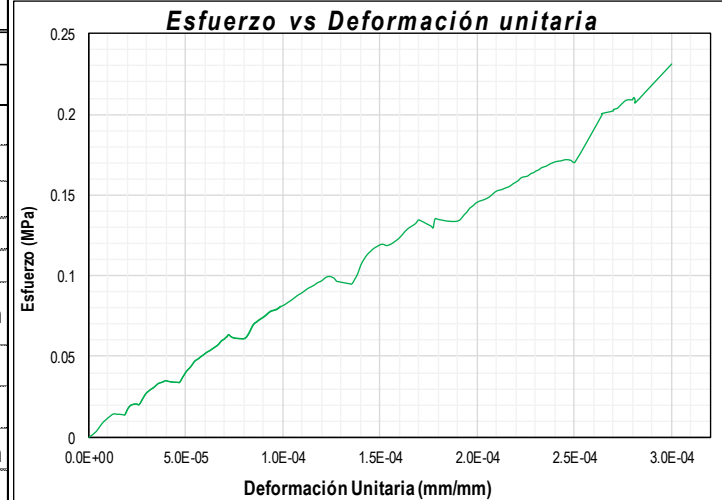
DATOS			
Longitud de ensayo	g=	500	mm
Ancho Muro	L <sub>W</sub> =	1299	mm
Altura Muro	L <sub>H</sub> =	1239	mm
Espesor de M	t=	121	mm
Área Bruta	A <sub>B</sub> =	24583.2	mm <sup>2</sup>
Área Sólida	A <sub>S</sub> =	7686	mm <sup>2</sup>

Muestra	MT3 SPV B#5	
Fecha Ensayo	14 de septiembre de 2018	
<b>Mampostería Ceragres</b>		
Unidad	Bloque Perforación Horizontal #5	
A <sub>TOTAL</sub>	245.832	cm <sup>2</sup>
A <sub>CELDAS</sub>	168.972	cm <sup>2</sup>



Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

CÁLCULOS			
Carga Máxima	P <sub>máx</sub>	17612.7	N
P <sub>40% máx</sub>	P <sub>40%</sub>	7045.1	N
% Área Sólida	n= A <sub>S</sub> /A <sub>B</sub>	0.31	-
Área Neta	A <sub>N</sub> =	47998	mm <sup>2</sup>
Esfuerzo de Corte	τ=	0.231	MPa
		231	kPa
Deformación Unitaria de Corte	γ=	0.00072	mm/mm
τ <sub>γ=0,005%</sub>	τ <sub>1</sub> =	0.00050	MPa
τ <sub>p=0,40</sub>	τ <sub>2</sub> =	0.09250	MPa
γ <sub>τ2</sub> =	γ <sub>2</sub> =	0.00011	mm/mm
Módulo de Corte	G=	825.54	MPa



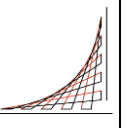
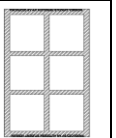
ASTM E519/E519M-15: Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages

NTC 4925-01: Prefabricados de Concreto. Método de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Tracción Diagonal (Cortante) en Muretes de Mampostería

**COMPRESIÓN DIAGONAL SOBRE MURO DE MAMPOSTERÍA EN BLOQUE DE PERFORACIÓN HORIZONTAL #5**

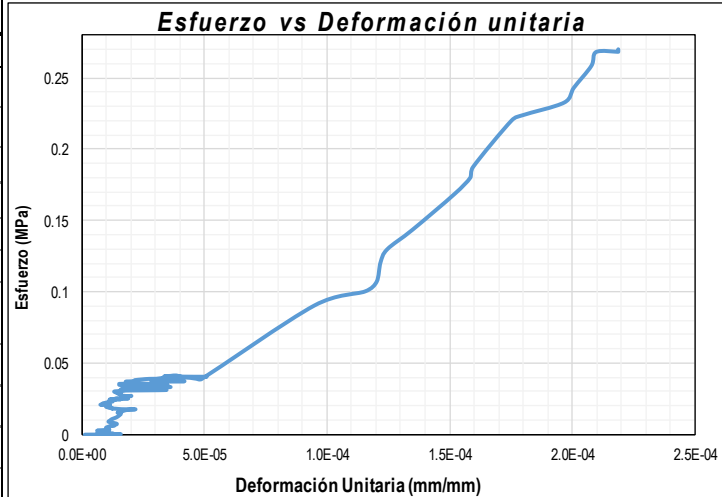
DATOS			
Longitud de ensayo	g=	500	mm
Ancho Muro	L <sub>W</sub> =	1225	mm
Altura Muro	L <sub>H</sub> =	1260	mm
Espesor de M	t=	120	mm
Área Bruta	A <sub>B</sub> =	24583.20	mm <sup>2</sup>
Área Sólida	A <sub>S</sub> =	7686	mm <sup>2</sup>

Muestra	MTA SPV-PH#5	
Fecha Ensayo	14 de septiembre de 2018	
<b>Mampostería Ceragres</b>		
Unidad	Bloque Perforación Horizontal #5	
A <sub>TOTAL</sub>	245.832	cm <sup>2</sup>
A <sub>CELDAS</sub>	168.972	cm <sup>2</sup>



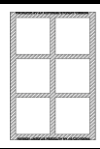

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

CÁLCULOS			
Carga Máxima	P <sub>máx</sub>	22166.3	N
P <sub>40% máx</sub>	P <sub>40%</sub>	8866.5	N
% Área Sólida	n= A <sub>S</sub> /A <sub>B</sub>	0.31	-
Área Neta	A <sub>N</sub> =	46616	mm <sup>2</sup>
Esfuerzo de Corte	τ=	0.327	MPa
		327	kPa
Deformación Unitaria de Corte	γ=	0.00004	mm/mm
τ <sub>γ=0,005%</sub>	τ <sub>1</sub> =	0.00050	MPa
τ <sub>p=0,40</sub>	τ <sub>2</sub> =	0.13090	MPa
γ <sub>τ2</sub> =	γ <sub>2</sub> =	0.00012	mm/mm
Módulo de Corte	G=	1171.82	MPa



ASTM E519/E519M-15: Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages

NTC 4925-01: Prefabricados de Concreto. Método de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Tracción Diagonal (Cortante) en Muretes de Mampostería

COMPRESIÓN DIAGONAL SOBRE MURO DE MAMPOSTERÍA EN BLOQUE DE PERFORACIÓN HORIZONTAL #5						
<b>DATOS</b>				Muestra	MT5 SPV-PH#5	
Longitud de ensayo	g=	500	mm	Fecha Ensayo	14 de septiembre de 2018	
Ancho Muro	L <sub>W</sub> =	1226	mm	<b>Mampostería Ceragres</b>		
Altura Muro	L <sub>H</sub> =	1300	mm	Unidad	Bloque Perforación Horizontal #5	
Espesor de M	t=	120	mm	A <sub>TOTAL</sub>	245.832	cm <sup>2</sup>
Área Bruta	A <sub>B</sub> =	24583.20	mm <sup>2</sup>	A <sub>CELDAS</sub>	168.972	cm <sup>2</sup>
Área Sólida	A <sub>S</sub> =	7686	mm <sup>2</sup>			
<b>CÁLCULOS</b>						
Carga Máxima	P <sub>máx</sub>	20352.6	N			
P <sub>40% máx</sub>	P <sub>40%</sub>	8141.0	N			
% Área Sólida	n= A <sub>S</sub> /A <sub>B</sub>	0.31	-			
Área Neta	A <sub>N</sub> =	47386	mm <sup>2</sup>			
Esfuerzo de Corte	τ=	0.296	MPa			
		296	kPa			
Deformación Unitaria de Corte	γ=	0.00005	mm/mm			
τ <sub>γ=0,005%</sub>	τ <sub>1</sub> =	0.00050	MPa			
τ <sub>p=0,40</sub>	τ <sub>2</sub> =	0.11850	MPa			
γ <sub>τ2</sub> =	γ <sub>2</sub> =	0.00010	mm/mm			
Módulo de Corte	G=	1372.40	MPa			

ASTM E519/E519M-15: Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages

NTC 4925-01: Prefabricados de Concreto. Método de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Tracción Diagonal (Cortante) en Muretes de Mampostería

## 12.3 ENSAYOS DE CARGA LATERAL CÍCLICA

### 12.3.1 MUROS SIN REFUERZO

Probeta	Dimensiones		P máx. [kN]	τ máx [MPa]	P prom [kN]	τ prom [MPa]
	B [m]	H [m]				
MNR1	1.24	2.42	31	0.998	30.6	0.985
MNR2	1.24	2.42	30.2	0.972		

### 12.3.2 MUROS REFORZADOS CON PAÑETE SIN MALLA ELECTROSOLDADA

Probeta	Dimensiones		P máx. [kN]	τ máx [MPa]	P prom [kN]	τ prom [MPa]
	B [m]	H [m]				
MSP 1	1.24	2.42	34.8	0.489	35.7	0.502
MSP2	1.24	2.42	36.6	0.514		

### 12.3.3 MUROS REFORZADOS CON PAÑETE Y MALLA ELECTROSOLDADA EN UNA CARA

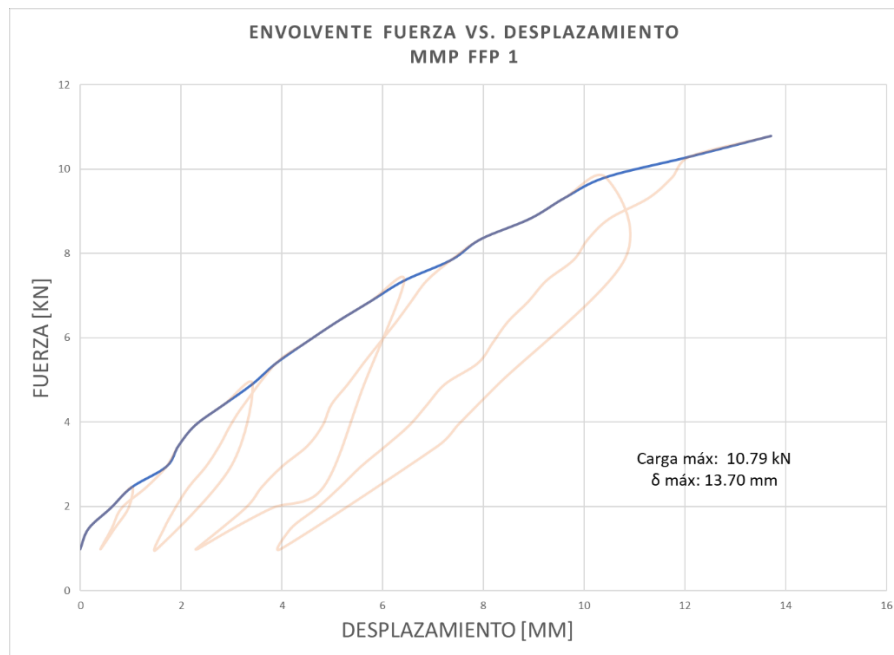
Probeta	Dimensiones		P máx. [kN]	τ máx [MPa]	P prom [kN]	τ prom [MPa]
	B [m]	H [m]				
MMP1	1.23	2.4	76.5	1.024	70.325	0.930
MMP2	1.24	2.42	70.9	0.911		
MMP3	1.23	2.4	58.27	0.729		

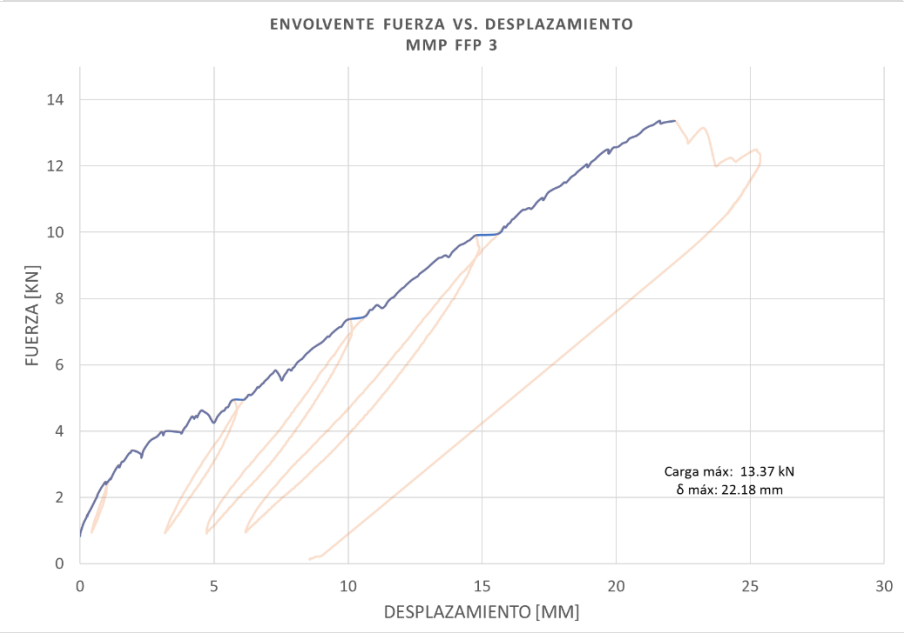
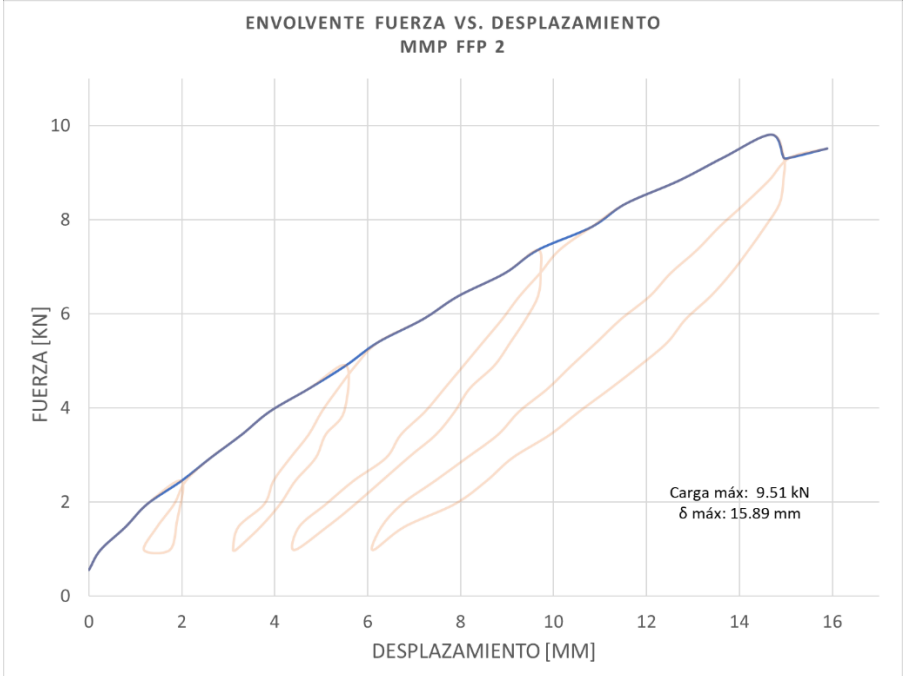
MMP4	1.24	2.42	66.5	0.892		
MMP5	1.24	2.42	67.4	0.891		

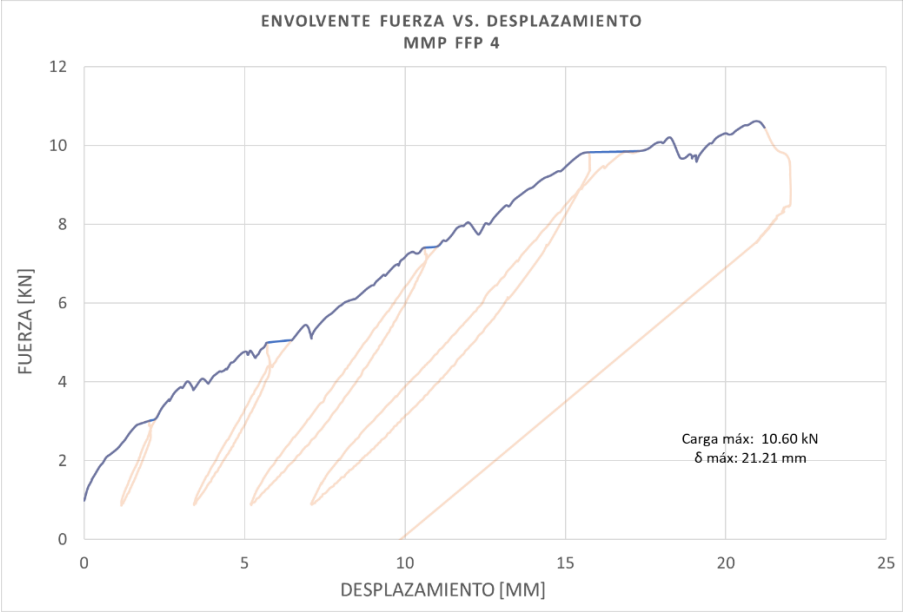
### 12.3.4 MURO REFORZADO CON PAÑETE Y MALLA ELECTROSOLDADA EN LAS DOS CARAS

Probeta	Dimensiones		P máx.	$\tau$ máx
	B [m]	H [m]	[kN]	[MPa]
MMP DC	1.24	2.4	85.78	0.71

### 12.4 ENSAYOS DE FLEXIÓN FUERA DEL PLANO







**12.5 LISTAS DE VERIFICACIÓN EMPLEADAS EN EL MANUAL DE EVALUACIÓN Y REFORZAMIENTO**  
**ANEXO C: LISTAS DE VERIFICACIÓN DE DEFICIENCIAS**

<b>1.0</b>				<b>AMENAZAS GEOLÓGICAS DEL SITIO</b>	<b>NOTAS</b>
<b>1.1</b>	<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>N/A</b>	LICUEFACCION: No deben existir suelos sueltos, granulares, saturados, susceptibles a licuefacción porque podrían comprometer el desempeño sísmico de la edificación en los 15 metros por debajo de la cimentación.	
<b>1.2</b>	<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>N/A</b>	FALLA DE LADERA: La pendiente de la ladera es inferior al 17%	
<b>1.3</b>	<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>N/A</b>	MUROS DE CONTENCION DEL SITIO: Los muros de contención de piedra sin refuerzo o muros de concreto ciclópeo (ambos muros de gravedad) que soporten directamente la estructura no podrán tener una elevación superior a 2.0m sin refuerzo adicional. Todos los sistemas de muros de gravedad sólidos deberán contar con perforaciones de drenaje (lloraderas).	
<b>2.0</b>				<b>CIMIENTOS</b>	<b>NOTAS</b>
<b>2.1</b>	<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>N/A</b>	CIMENTACION DE MUROS: El cimiento esta hecho de piedra y mortero, concreto ciclópeo, o concreto reforzado. La cimentación es continua bajo todos los muros y en todo el perímetro. Hay una viga abajo de todos los muros cuando el sistema sea mampostería confinada o cuando la pendiente sea superior a 17%. Todas las columnas están conectadas a la cimentación Y los cimientos están empotrados al menos 50cm por debajo del nivel de desplante.	
<b>2.2</b>	<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>N/A</b>	DESEMPEÑO DE LOS CIMIENTOS: No hay evidencias de movimientos excesivos de la cimentación, como ser asentamientos o levantamientos que afecten la integridad o Resistencia de la estructura.	
<b>2.3</b>	<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>N/A</b>	VOLCAMIENTO: La altura total de la edificación (h) es inferior a tres veces la menor dimensión lateral (w).	
<b>2.4</b>	<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>N/A</b>	CONEXIÓN ENTRE LOS ELEMENTOS DE LA CIMENTACIÓN: Para todos los sitios en ladera (>17% pendiente) o para sitios con suelo blando, los elementos de la cimentación estarán interconectados por una placa de concreto reforzado, y los cimientos y vigas serán continuos bajo todos los muros.	
<b>2.5</b>	<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>N/A</b>	DETERIORO: No hay evidencias de que los elementos de la cimentación tengan deterioro excesivo debido a la corrosión, ataque de sulfatos, descomposición de materiales, u otras razones que pudieran afectar la integridad o resistencia de la estructura.	
<b>3.0</b>				<b>SISTEMA CONSTRUCTIVO</b>	<b>NOTAS</b>
<b>3.1</b>	<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>N/A</b>	MATERIALES: Los materiales utilizados para los sistemas de cargas por gravedad y de cargas laterales son de concreto reforzado y mampostería de unidades de arcilla, o unidades de concreto. Un sistema liviano de madera y lámina metálica para la cubierta puede estar presente pero sin diseño sísmico.	

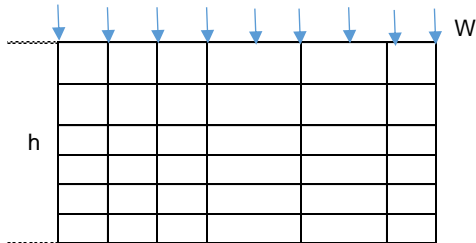
3.0				<b>SISTEMA CONSTRUCTIVO</b>	<b>NOTAS</b>
3.2	C	NC	N/A	<p>TRAYECTORIA DE LAS CARGAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Es necesario un mínimo de dos ejes distintos de muros en cada dirección.</li> <li>• Un eje adicional de muro es necesario por cada 4.0 m de espacio.</li> <li>• Los muros a los que se les atribuya resistencia lateral deberán tener una longitud de al menos 1.0 m.</li> <li>• Los muros paralelos no tendrán más de 4.0m de distancia entre ellos.</li> <li>• Los muros estarán conectados al diafragma de arriba y de abajo por vigas reforzadas continuas y centradas en el eje del muro.</li> <li>• La viga de cimentación deberá ser contigua a la placa de contra-piso.</li> </ul>	
3.3	C	NC	N/A	CANTIDAD DE PISOS: La cantidad máxima de pisos es de tres, y de un solo nivel en zona sísmica alta.	
3.4	C	NC	N/A	ALTURA DE PISOS: La altura máxima no es mayor a 25 veces el espesor mínimo de los muros en ese piso (NSR-10, 10.3.3). No se recomienda que en ningún caso la altura libre exceda los 3.0 metros en planta baja, o 2.75 metros en los pisos superiores.	
3.5	C	NC	N/A	CARGA: El peso promedio (1.0xD) de cada nivel, incluyendo la carga aferente de paredes y contenidos (cargas vivas y muertas), no excede 4.8kPa (0.480 tonf/m², 100 psf, libras por pie cuadrado). Ese es el peso correspondiente a una edificación típica con pocos o ningún recubrimiento sobre los muros.	
3.6	C	NC	N/A	SISTEMA DE PISO Y CUBIERTA: Los sistemas de pisos elevados y de cubierta son del tipo común en Colombia (aproximadamente entre 10 y 15cm de espesor de concreto armado). Las cubiertas también pueden ser de materiales livianos, como son perfiles metálicos y lámina de techo.	
3.7	C	NC	N/A	MUROS: Los muros estructurales están compuestos de unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos y mortero. Las unidades de mampostería y las juntas están en condiciones aceptables. Puede ser que los muros estén recubiertos de pañete, pero eso no se toma en cuenta para el espesor ni para la Resistencia a menos de que se tenga la certeza de que se trata de pañete con características estructurales específicas. En ningún caso deberán los muros tener un espesor nominal (incluyendo el pañete estructural) menor a lo indicado en NSR-10 D.9.1.3 para MNR, o en D.10.3.3 para MC, o en la Tabla E.3.5-1 para vivienda de uno y dos niveles.	
3.8	C	NC	N/A	VOLADIZOS: Los muros perimetrales de los niveles superiores no están soportados por voladizos o aleros que se extiendan desde las paredes exteriores inferiores más allá del 50% del espesor de la pared. Este enunciado no aplica a edificaciones de un solo nivel.	
3.9	C	NC	N/A	DAÑOS: La estructura no tiene daños producidos por sismos ni eventos climáticos, ni en las paredes de mampostería ni en el sistema de cubierta. Las edificaciones con daños se consideran en condición NO CUMPLE pero pueden ser reparados siguiendo la normativa aplicable, para poder ser considerados en condición CUMPLE.	
4.0				<b>MUROS DE MAMPOSTERÍA</b>	<b>NOTAS</b>
4.1	C	NC	N/A	CONFINAMIENTO: Los muros están ajustados a las vigas superiores de amarre (conocidas comúnmente como viga cinta) o a las placas de entrepiso y a las columnas si es que éstas existen. No hay elementos de encofrado presentes en las caras inferiores de las placas ni en las vigas.	



<b>4.0</b>		<b>MUROS DE MAMPOSTERÍA</b>	<b>NOTAS</b>
<b>4.2</b>	<b>C NC N/A</b>	VANOS: Las puertas, ventanas, y otras aberturas mayores a 0.5m deberán extenderse hasta la viga de amarre, o deberán contar con un dintel de concreto reforzado. Los dinteles deben extenderse como mínimo 20 cm dentro de la mampostería adyacente, o estar conectados a un elemento vertical de concreto.	
<b>4.3</b>	<b>C NC N/A</b>	VIGA DE AMARRE: Las edificaciones con techo en cubierta liviana cuentan con un elemento de concreto continuo, y con refuerzo de acero en la parte superior de las paredes para transferir fuerzas laterales a las paredes transversales. Las vigas de amarre pasan sobre los vanos de las puertas. El sistema de cubierta está firmemente anclado a la viga de amarre.	
<b>4.4</b>	<u>Transversal</u> <u>Nivel C-NC-N/A</u> 3 2 1 <u>Longitudinal</u> <u>Nivel C-NC-N/A</u> 3 2 1	PORCENTAJE DE ÁREA DE MUROS: El porcentaje de Área de muros es superior al porcentaje de Área de muros existente (ver tabla abajo) en cada nivel y en cada dirección. Anote el Porcentaje de Área de Muros Requerido a la derecha, y C, NC, o N/A en la columna de la izquierda.	<u>Área de Muros Provista y Requerida</u> <u>Transversal</u> <u>Nivel Requerida Provista</u> 3 2 1 <u>Longitudinal</u> <u>Nivel Requerida Provista</u> 3 2 1
<b>5.0</b>		<b>CONFIGURACION</b>	<b>NOTAS</b>
<b>5.1</b>	<b>C NC N/A</b>	TORSION: 1. Hay muros en todos los lados exteriores de la edificación, a no más de un 25% de la cota en planta del borde de la edificación, incluyendo plantas en Longitud y en Transversal. O 2. Alternativamente, la distancia estimada entre el centro de inercia y el centro de rigidez, para cada dirección ortogonal, calculada en cumplimiento de la ecuación E.3.6-2 de NSR-10 Capítulo E.3, será menor al 15% de la mayor cota de la edificación en planta.	

5.0		<b>CONFIGURACION</b>			<b>NOTAS</b>
5.2	C	NC	N/A	Junta Sísmica Edificaciones Adyacentes: Si la Junta Sísmica cumple lo dispuesto en el Capítulo A.6 del Reglamentos NSR10 (Figura A.6.5-1), se puede considerar que CUMPLE. Si las placas de cubierta y entresijos de las edificaciones vecinas no están alineadas verticalmente debe haber una distancia de contacto superior a 3cm para estructuras de un solo nivel, 6cm para dos niveles, y de 9cm para tres niveles. Si las losas de entresijo y de cubierta están alineadas el ítem se puede considerar como una buena práctica de carácter no obligatorio.	
5.3	C	NC	N/A	DISCONTINUIDADES VERTICALES: En general, los muros del Segundo nivel están ubicados sobre los del primer nivel. Los muros del segundo nivel que no estén alineados con los del nivel inferior, estarán soportados por alguna de las siguientes, y no tendrán más de 3.0m sin apoyo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Columnas aisladas competentes, ver lista de verificación específica para los requerimientos de este ítem.</li> <li>• Muros perpendiculares que se prolonguen al menos 60cm a cada lado de la pared de arriba.</li> <li>• Muros paralelos con por lo menos ¼ de la longitud del muro superior (30cm como mínimo) de traslapo con la pared de abajo.</li> </ul> Este enunciado no aplica a edificaciones de una sola planta.	
6.0		<b>ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS</b>			<b>NOTAS</b>
6.1	C	NC	N/A	COLUMNAS DE CONCRETO AISLADAS O DISCONTINUAS: Las columnas aisladas que estén soportando placas de concreto o los tramos de muros de mampostería discontinuos deberán cumplir los siguientes requerimientos mínimos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las columnas estarán construidas de concreto reforzado, y en buen estado con una altura libre mínima de 1.5m.</li> <li>• La base de la columna estará conectada al resto de la edificación mediante un cimiento corrido o una placa de concreto reforzado.</li> <li>• Las columnas tendrán una dimensión mínima de 15cm en caso de soportar una placa de techo o terraza, de 20cm si soporta un muro discontinuo de un nivel, y 33cm si el muro es de dos niveles sobre ella.</li> </ul>	
	C	NC	N/A		
	C	NC	N/A		
6.2	C	NC	N/A	VANOS EN PLACAS CERCA DE MUROS CORTANTES: Las aberturas en las placas adyacentes a los muros cortantes deberán cumplir los siguientes requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las aberturas adyacentes a los muros cortantes deben medir menos del 25% de la longitud del muro.</li> <li>• Las aberturas cercanas a las paredes de mampostería no serán mayores a 2.5m en su longitud, y existirá una viga de concreto reforzado en toda la longitud del muro adyacente.</li> </ul>	
	C	NC	N/A		
6.3	C	NC	N/A	PARAPETOS (cornisas): No habrá parapetos ni cornisas sin soporte lateral que tengan una relación de espesor-altura superior a 1.5. Los parapetos de mampostería deberán estar en buenas condiciones con sus elementos bien adheridos a la estructura que los soporta.	

6.0				ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS	NOTAS
6.4	C	NC	N/A	<p>ESCALERAS Y DESCANSOS: Las escaleras deberán cumplir todos los requisitos siguientes:</p> <p>Las escaleras estarán conectadas al entrepiso de concreto en cada nivel elevado de la edificación por un descanso continuo de concreto reforzado. Las escaleras no dependerán de las paredes o muros de la edificación como forma de apoyo vertical.</p> <p>El apoyo vertical de las escaleras y descansos será provisto por columnas aisladas competentes, o muros de mampostería de por lo menos 60cm de longitud.</p> <p>La cimentación de las escaleras deberá estar edificada con concreto ciclópeo o concreto reforzado con un empotramiento en el suelo de por lo menos 30cm. En sitios con una pendiente superior al 17% o en suelos blandos la cimentación de las escaleras deberá ser continua con la del resto de la edificación.</p>	
	C	NC	N/A		
	C	NC	N/A		

**CARGA AXIAL SOBRE MURO DEL PRIMER PISO**

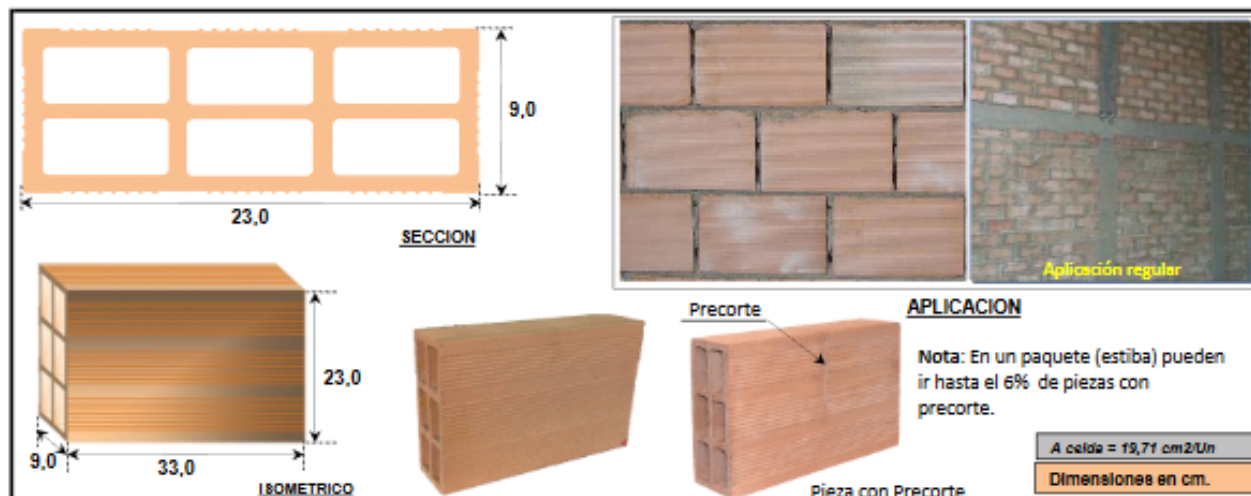
$$L_{\text{aférente}} = 4.0 \text{ m}$$

$$h_{\text{muro sup}} = 2.4 \text{ m}$$

ESFUERZOS DE TRABAJO	CARGA	COMBINACIÓN: D+L				
	Losa de concreto	6.4 kN/m <sup>2</sup>	x	4.0 m	=	25.6 kN/m
	Muro 2do nivel	2.50 kN/m <sup>2</sup>	x	2.40 m	=	6 kN/m
	Carga de Cubierta	0.30 kN/m <sup>2</sup>	x	4.0 m	=	1.2 kN/m
				W=	32.8 kN/m	
	CARGA	COMBINACIÓN: D+0.75L+0.75G				
	Losa de concreto	5.95 kN/m <sup>2</sup>	x	4.0 m	=	23.8 kN/m
	Muro 2do nivel	2.50 kN/m <sup>2</sup>	x	2.40 m	=	6 kN/m
	Carga de Cubierta	1.05 kN/m <sup>2</sup>	x	4.0 m	=	4.2 kN/m
				W=	34.0 kN/m	
MÉTODO DE RESISTENCIA	CARGA	COMBINACIÓN: 1.2D+1.6L+0.5G				
	Losa de concreto	8.4 kN/m <sup>2</sup>	x	4.0 m	=	33.6 kN/m
	Muro 2do nivel	3.00 kN/m <sup>2</sup>	x	2.40 m	=	7.2 kN/m
	Carga de Cubierta	0.86 kN/m <sup>2</sup>	x	4.0 m	=	3.44 kN/m
				W=	44.24 kN/m	
	CARGA	COMBINACIÓN: 1.2D+1.6G+L				
	Losa de concreto	7.32 kN/m <sup>2</sup>	x	4.0 m	=	29.28 kN/m
	Muro 2do nivel	3.00 kN/m <sup>2</sup>	x	2.40 m	=	7.2 kN/m
	Carga de Cubierta	1.96 kN/m <sup>2</sup>	x	4.0 m	=	7.84 kN/m
				W=	44.3 kN/m	

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA				
Cálculo de capacidad flexión fuera del plano				
Resistencia a flexión			$M_u \leq \phi R_e M_n$	
D.5.7.2				
Reducción de resistencia por esbeltez			$R_e = 1 - \left[ \frac{h'}{42t} \right]^2$ para $h'/t \leq 30$	
D.5.5.2				
Momento nominal			$M_n = A_{se} f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$	
D.5.7-2				
<b>h'</b>	[mm]	2600	$a = \frac{A_s f_y + P_u}{0.80 f'_m b}$	
<b>t</b>	[mm]	150		
<b>Re</b>		0.830		
<b>a</b>		44.981		
<b>f'm</b>	[MPa]	1.1	$A_{se} = \frac{A_s f_y + P_u}{f_y}$	
<b>b</b>	[mm]	1200		
<b>d</b>	[mm]	130		
<b>Ase</b>	[mm <sup>2</sup> ]	113.094	<b>Mn [N*mm<sup>2</sup>]</b>	5106655.60
<b>As</b>	[mm <sup>2</sup> ]	113.094	<b>Mn [kN*m<sup>2</sup>]</b>	5.11
<b>fy</b>	[MPa]	420	<b>Mu [kN*m<sup>2</sup>]</b>	4.24
<b>Pu</b>	[N]	0		
<b>P</b>	9.78	KN		
<b>P</b>	0.98	TON		

## BLOQUE # 4



### ESPECIFICACIONES TECNICAS

Dimensiones	Largo	Ancho	Alto
	33,0 cm	9,0 cm	23,0 cm
Tolerancia Dimensional	± 6 mm	± 3 mm	± 6 mm
Color	TERRACOTA CLARO (Según muestras) El color varia dentro de una gama similar a la que se observa en la foto de aplicación		
Textura	ESTRIADO POR SUS CUATRO (4) CARAS		
Paredes y Perimetrales	± 10,0 mm	Tabiques	± 8,5 mm
Peso / Unidad	5,7 kg. (Aprox.)		
Rendimiento con dilatación de 1cm	12,25 Unidades/m2		
Peso / m2	69,83 Kg/m2 de muro		
Aplicación	<b>Muros Divisorios</b>		
Clasificación	Tipo PH	Unidad de Mampostería de Perforación Horizontal	
	Promedio 5 Unidades	Individual	
Resistencia a la compresión (Mínima)	3,0 MPa (30 Kgf/cm2)	2,0 MPa (20 Kgf/cm2)	
Absorción de Agua (Máxima)	13%	14%	
Normas Aplicadas	ICONTEC	NTC 4205-2	
	AIS	NSR 10	
	ASTM	C56, C212, C216	

**Recomendaciones de Almacenamiento:**

Se recomienda que las piezas de arcilla se almacenen en obra en un sitio plano, seco, aislado del terreno, y protegido de la escorrentía, las zonas de escombros, el almacenamiento de arenas y sitios de preparación de mezclas de mortero y concreto.

**Recomendaciones de Diseño e Instalación:**

En la aplicación como muros divisorios se deben cumplir los requisitos de la **NSR10 Capítulo A.9 Elementos No Estructurales**, en su diseño y anclaje a la estructura.

El diseño comprende columnetas y viguetas, similar a una mampostería confinada. Seguir recomendaciones del "Manual de Diseño - Muros divisorios y de fachada en mampostería según normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente" de Santafé.

Durante la construcción se procurará mantener el muro lo más limpio posible, esto facilitará la limpieza posterior.

Para una correcta y eficiente aplicación seguir las instrucciones de **SANTAFÉ**.

**Recomendaciones de lavado:**

Generalmente los muros divisorios construidos con estas piezas llevan algún tipo de acabado, por lo que no se acostumbra el lavado. De ser necesario se deben seguir las recomendaciones del **Manual de Lavado de SANTAFÉ**.

El muro deberá estar seco. **No usar Acido Muriático**. Para la aplicación de la solución de lavado, previamente se deben retirar los excesos de mortero y polvo, y pre humedecer el muro (esto evita la penetración del ácido en la pieza de arcilla). Después de refregar el muro con la solución de lavado, esta se debe retirar con abundante agua.





## HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

# Sikadur AnchorFix-4

### SISTEMA EPÓXICO PARA ANCLAJES DE PERNOS Y BARRAS

#### DESCRIPCION DEL PRODUCTO

Sikadur AnchorFix-4 es un sistema epóxico de dos componentes, 100% sólidos insensible a la humedad y tixotrópico (no escurre). Una vez mezclados los componentes se obtiene una pasta suave de gran adherencia y resistencia mecánica para anclajes de pernos y barras, cumple norma ASTM C-881-02 tipo IV, grado 3.

#### USOS

Sikadur AnchorFix-4 puede ser usado solamente por profesionales con experiencia.

- Pasta para anclaje de pernos, varillas y fijaciones especiales en concreto.
- Anclajes en mampostería
- Pega de enchapes.
- Como sello en mantenimiento preventivo para rellenar fisuras de gran dimensión (menores de 6 mm), en estructuras nuevas o existentes para proteger el acero de refuerzo de la corrosión.
- Para fijar elementos como: prefabricados, vigas, escaleras, barandas, etc.
- Para la pega de elementos endurecidos como: madera, concreto, metal, vidrio, acero, etc

#### CARACTERISTICAS / VENTAJAS

- Producto listo para usar y de fácil aplicación con Pistola AnchorFix-4/3001.
- Insensible a la humedad antes, durante y después de curado.
- Alta resistencia y alto módulo de elasticidad.
- Excelente adherencia a mampostería, concreto, madera, acero y a la mayoría de materiales estructurales.
- Su consistencia pastosa es ideal para aplicaciones en vertical y sobre cabeza.
- Relación de mezcla A:B = 1:1 en volumen.

#### INFORMACION AMBIENTAL

Aprobación para contacto con agua potable de Water Quality Association según NSF/ANSI-61.

#### CERTIFICADOS / NORMAS

ASTM C-881-02, Tipo IV, Grado 3

#### INFORMACION DEL PRODUCTO

<b>Empaques</b>	Cartuchos gemelos Und. de 900 gr. – 600 cc. Cartuchos gemelos Und. de 450 gr. - 300 cc.
<b>Color</b>	Gris
<b>Vida en el recipiente</b>	Un (1) año a partir de la fecha de fabricación.
<b>Condiciones de Almacenamiento</b>	Almacenar en su empaque original, bien cerrado y bajo techo. Transpórtese con las precauciones normales para productos químicos.

Hoja de Datos del Producto  
Sikadur AnchorFix-4  
Junio 2017, Versión 01.01  
020205010030000001



## INFORMACION TECNICA

Resistencia a Compresión	73°F (23°C)			(ASTM D-695)
	4 horas	-		
	8 horas	300 psi, (2.1 MPa)		
	16 horas	8.209 psi, (56.6 MPa)		
	3 días	9.960 psi, (68.7 MPa)		
	7 días	10.380 psi, (71.6 MPa)		
Resistencia a Flexión	6.700 psi, (46.2 MPa) (14 días)			(ASTM D-790)
Módulo de Elasticidad a Flexión	7,5*10 <sup>5</sup> psi, (5.175 MPa) (14 días)			(ASTM D-790)
Resistencia a tensión	4.300 psi, (29.7 MPa) (14 días)			(ASTM D-638)
Módulo de Elasticidad a Tensión	4.1*10 <sup>5</sup> psi, (2.829 MPa) (14 días)			(ASTM D-638)
Elongación a Rotura	1.3%			
Resistencia a Cortante	3.700 psi (25.5 MPa) (14 días)			(ASTM D-732)
Resistencia al Arrancamiento	Diámetro de acero de refuerzo	Diámetro de perforación (in)	Espaciamento entre barras S <sub>cr</sub> (cm)	Distancia al borde C <sub>cr</sub> (cm)
	No. 3	1/2	17	11.5
	No. 4	5/8	23	15
	No. 5	3/4	29	19
	No. 6	7/8	34	23
	No. 7	1	40	27
	No. 8	1-1/8	46	30.5
	No. 9	1-3/8	52	33
	No. 10	1-1/2	58	38
	Profundidad de anclaje (cm) Mínimo	Capacidad de carga permisible con base en la resistencia de adherencia o capacidad del concreto (kg) f'c=140 kg/cm <sup>2</sup>	Capacidad de carga permisible con base en la resistencia del acero (kg) f <sub>y</sub> = 2.800 kg/cm <sup>2</sup>	Capacidad de carga permisible con base en la resistencia del acero (kg) f <sub>y</sub> = 4.200 kg/cm <sup>2</sup>
	9	1.260	1.000	1.200
	12	1.630	1.815	2.180
	15	2.280	2.800	3.375
	18	2.980	4.000	4.790
	20	3.370	5.450	6.530
	23	5.460	7.170	8.600
26	6.310	8.980	10.780	
29	8.390	11.100	13.360	
Valores de carga son válidos para las profundidades, diámetros, espaciamientos y distancias al borde indicados, para la temperatura de servicio admisible del Sikadur AnchorFix-4, para cargas estáticas y concreto sin fisuras. La carga admisible de diseño debe ser la menor entre la resistencia de adherencia y la del acero.				
Contacto con agua	Absorción de agua (24 horas)	0.11%		(ASTM D-570)

<b>Temperatura de Servicio</b>	Reducción de la carga de servicio admisible por resistencia de adherencia con base en la temperatura de servicio.	
<b>Temperatura de servicio</b>	<b>% de carga admisible</b>	
Hasta 49°C	100%	
65°C	62%	
82°C	52%	

## INFORMACION DE APLICACIÓN

<b>Proporción de la Mezcla</b>	1: 1 en volumen.		
<b>Consumo</b>	1,5 kilos por litro de relleno.		
<b>Tiempo de Curado</b>	<b>Temperatura(°C) de aplicación</b>	<b>Tiempo Gel (min)</b>	<b>Tiempo de curado (horas)</b>
	4	60	48
	15	45	36
	23	35	24
	32	20	24

## INSTRUCCIONES DE APLICACION

### Preparación de superficie

La superficie debe estar sana y limpia puede estar seca o húmeda pero libre de empozamientos. Remover polvo, lechada, grasa, curadores, impregnaciones, ceras y cualquier otro contaminante.

### Método de limpieza

Anclaje de pernos, varillas y fijaciones especiales:

El diámetro del hueco del perno o varilla a anclar debe ser desde 1/8 a 1/4 de pulgada (3,2 a 6,4 mm) mayor que el diámetro del perno o varilla a anclar, realizar la perforación con un taladro rotopercutor y la broca adecuada (1). Limpie el hueco con aire a presión, introduzca un cepillo de cerdas de alambre (churrusco) y coloque nuevamente aire a presión para eliminar los residuos de la perforación, repetir esta operación tres veces. Proteja el hueco contra la penetración de agua u otras partículas contaminantes (2,3). Limpie la barra a anclar por medios mecánicos hasta que esté totalmente libre de óxido, grasa o cualquier partícula o material contaminante (previo a su colocación).

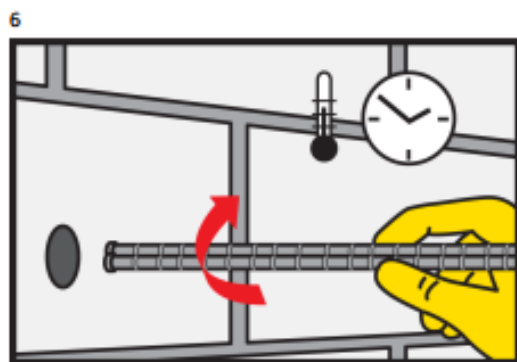
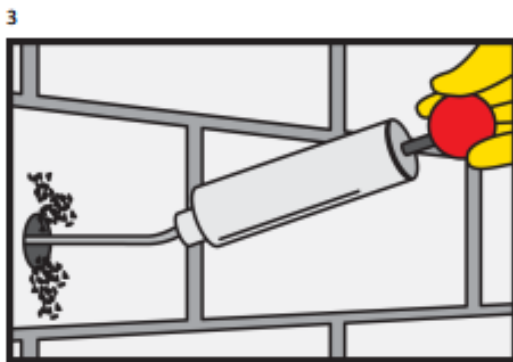
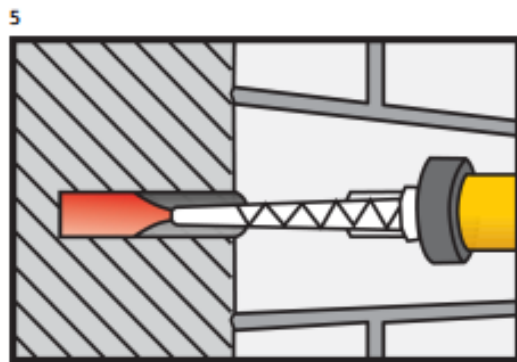
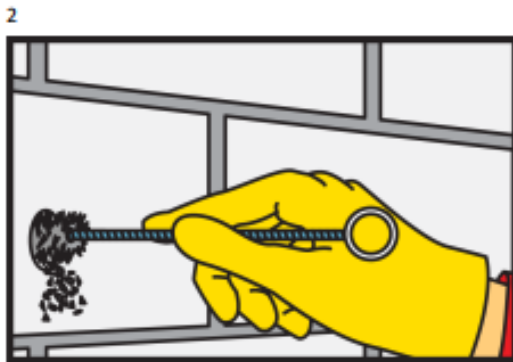
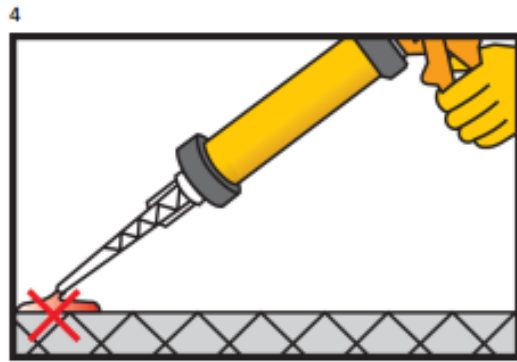
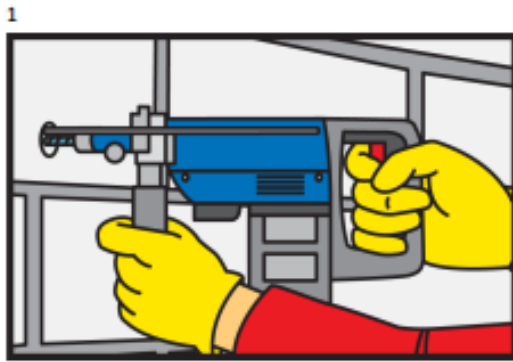
La barra debe estar completamente recta para que el epóxico quede en todo su contorno.

## METODO DE APLICACIÓN / HERRAMIENTAS

Sikadur AnchorFix-4 viene envasado en dos cartuchos plásticos gemelos, listo para ser usado. Retire los tapones de salida del producto de los cartuchos y ajuste la boquilla de mezclado y salida del producto. Instale luego los cartuchos gemelos en la pistola AnchorFix-4/3001 (de doble embolo) de Sika.

Presione el gatillo aprox. 2 veces (no en la perforación) hasta que por la punta de la boquilla salga el adhesivo con un color y consistencia uniforme. No utilice este material (4). Introduzca la boquilla hasta el fondo de la perforación, inyecte el adhesivo y llene hasta 3/4 de la perforación (aprox.), retire suavemente la boquilla a medida que se llene el hueco. En huecos profundos usar extensión.

Evitar la inclusión de aire (5). Después de limpiar la barra a anclar introdúzcala girándola lentamente hasta que esta toque el fondo de la perforación de tal forma que el Sikadur AnchorFix-4 se desplace a la superficie para garantizar que este ocupe la totalidad de la longitud del anclaje (6). Limpie el sobrante si es necesario y garantice que el elemento no se mueva durante las próximas 4 horas.



Hoja de Datos del Producto  
**Sikadur AnchorFix-4**  
Junio 2017, Versión 01.01  
020205010030000001

## LIMITACIONES

- Utilice preferiblemente todo el contenido del cartucho gemelo de forma continua.
- Las características del sistema de anclaje (profundidad, diámetro, distancias entre anclajes, y al borde) deben ser definidas por el diseñador.
- Precalentar el producto hasta máximo 35°C cuando la temperatura sea inferior a 6°C.
- No se debe aplicar soldadura a elementos metálicos pegados con el adhesivo epóxico ya que seguramente se sobrepasará la temperatura máxima admisible de servicio del adhesivo, con ablandamiento o daño del mismo y falla en la pega.
- La temperatura ambiente durante la aplicación debe estar por lo menos 3°C sobre el punto de rocío.
- La temperatura de servicio del sistema de pega debe estar por debajo de la temperatura de deflexión (HDT) del adhesivo.

## NOTAS

Los usuarios deben referirse siempre a la versión local más reciente de la Hoja Técnica del Producto cuya copia será suministrada al ser solicitada.

## RESTRICCIONES LOCALES

Este producto puede variar en su funcionamiento o aplicación como resultado de regulaciones locales específicas. Por favor, consulte la hoja técnica del país para la descripción exacta de los modos de aplicación y uso.

## ECOLOGIA, SALUD Y SEGURIDAD

En caso de presentarse contacto con la piel, lávese de inmediato con agua y jabón. Si ha habido contacto con los ojos, lávese de inmediato con abundante agua durante por lo menos 15 minutos. Acuda al médico de inmediato. En caso de manifestarse problemas respiratorios, lleve a la persona afectada a un sitio ventilado. Qútese la ropa contaminada y lávela antes de volverla a utilizar. Manténgase fuera del alcance de los niños. Consulte la hoja de seguridad para obtener información más detallada.

## NOTAS LEGALES

La información, y en particular las recomendaciones relacionadas con la aplicación y uso final de los productos Sika, se proporcionan de buena fe, con base en el conocimiento y la experiencia actuales de Sika sobre los productos que han sido apropiadamente almacenados, manipulados y aplicados bajo condiciones normales de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones actuales de las obras son tales, que ninguna garantía con respecto a la comercialidad o aptitud para un propósito particular, ni responsabilidad proveniente de cualquier tipo de relación legal pueden ser inferidos ya sea de esta información o de cualquier recomendación escrita o de cualquier otra asesoría ofrecida. El usuario del producto debe probar la idoneidad del mismo para la aplicación y propósitos deseados. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de los productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todas las órdenes de compra son aceptadas con sujeción a nuestros términos de venta y despacho publicadas en la página web: [col.sika.com](http://col.sika.com).

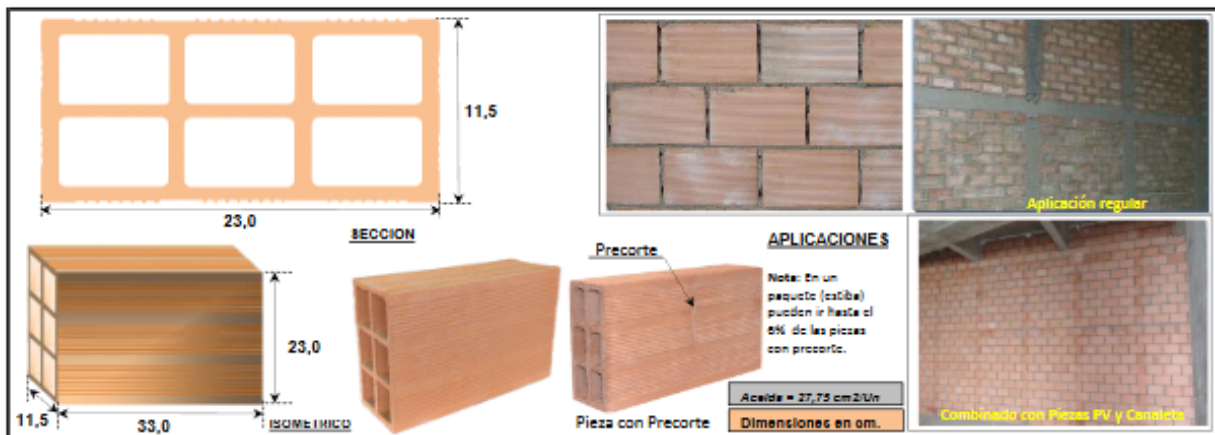
Sika Colombia S.A.S  
Vereda Canavita, Km 20.5 Autopista Norte  
Tocancipá Cundinamarca Colombia  
phone: +57 1 878 6333  
e-mail: [sika\\_colombia@co.sika.com](mailto:sika_colombia@co.sika.com)  
web: [col.sika.com](http://col.sika.com)



SikadurAnchorFix-4\_es\_CO\_06-2017\_1\_1.pdf

Hoja de Datos del Producto  
Sikadur AnchorFix-4  
Junio 2017, Versión 01.01  
030205010030000001



**BLOQUE # 5**

**ESPECIFICACIONES TECNICAS**

Dimensiones	Largo	Ancho	Alto
	33,0 cm	11,5 cm	23,0 cm
Tolerancia Dimensional	± 6 mm	± 3 mm	± 6 mm
Color	TERRACOTA CLARO (Según muestras) El color varía dentro de una gama similar a la que se observa en la foto de aplicación		
Textura	ESTRIADO POR SUS CUATRO (4) CARAS		
Paredes y Perimetrales	± 10,0 mm	Tabiques	± 8,5 mm
Peso / Unidad	6,2 kg. (Aprox.)		
Rendimiento con dilatación de 1cm	12,25 Unidades/m2		
Peso / m2	75,95 Kg/m2 de muro		
Aplicación	<b>Muros Divisorios</b> Mampostería De Muros Confinados y Mampostería de Cavidad Reforzada <b>Ver anexo con los detalles de aplicación correcta y las piezas complementarias</b>		
Clasificación	Tipo PH	Unidad de Mampostería de Perforación Horizontal	
	Promedio 5 Unidades	Individual	
Resistencia a la compresión (Mínima)	3,0 Mpa (30 Kgf/cm2)	2,0 Mpa (20 Kgf/cm2)	
Absorción de Agua (Máxima)	13%	14%	
Normas Aplicadas	ICONTEC	NTC 4205-2	
	AIS	NSR 10	
	ASTM	C56, C212, C216	

**Recomendaciones de Almacenamiento:**

Se recomienda que las piezas de arcilla se almacenen en obra en un sitio plano, seco, aislado del terreno, y protegido de la escorrentía, las zonas de escombros, el almacenamiento de arenas y sitios de preparación de mezclas de mortero y concreto.

**Recomendaciones de Diseño e Instalación:**

En la aplicación como muros divisorios se deben cumplir los requisitos de la **NSR10 Capítulo A.9 Elementos No Estructurales**, en su diseño y anclaje a la estructura.

El diseño comprende columnetas y viguetas, similar a una mampostería confinada, o combinando con las piezas estructurales PV para disponer por éstas el refuerzo vertical y con el Bloque Canaleta para construir las vigas que son necesarias en la mitad de los muros de 4m de altura o más y en los remates de muros. Seguir recomendaciones del "Manual de Diseño - Muros divisorios y de fachada en mampostería según normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente" de Santafé.

Durante la construcción se procurará mantener el muro lo más limpio posible, esto facilitará la limpieza posterior.

Para una correcta y eficiente aplicación seguir las instrucciones de **SANTAFÉ**.

**Recomendaciones de lavado:**

Generalmente los muros divisorios construidos con estas piezas llevan algún tipo de acabado, por lo que no se acostumbra el lavado. De ser necesario se deben seguir las recomendaciones del **Manual de Lavado de SANTAFÉ**.

El muro deberá estar seco. **No usar Ácido Muriático**. Para la aplicación de la solución de lavado, previamente se deben retirar los excesos de mortero y polvo, y **prehumedecer el muro** (esto evita la penetración del ácido en la pieza de arcilla). Después de refregar el muro con la solución de lavado, esta se debe retirar con abundante agua.

## LADRILLO PENSADO MACIZO



### ESPECIFICACIONES TECNICAS

Dimensiones	Largo	Ancho	Alto
	24,5 cm	12,0 cm	5,5 cm
Tolerancia Dimensional	± 4 mm	± 3 mm	± 2 mm
	Nota: Hasta el 2% de las piezas podrá estar excedido de estas tolerancias pero sin superar el máximo de ± 4mm.		
Color	TERRACOTA (Según muestras)	El color varía dentro de una gama similar a la que se observa en la foto de aplicación	
Textura	LISO POR SUS CUATRO (4) CARAS		
Peso/Unidad	3,0 kg.		
Rendimiento con dilatación de 1cm	60 Un/m <sup>2</sup>		
Peso/m <sup>2</sup>	180,0 Kg/m <sup>2</sup> de muro		
Aplicación	<b>Muros de Fachada y divisorios</b> Muros Estructurales de Mampostería confinada o cavidad reforzada		
Clasificación	Tipo M	Unidad de Mampostería Maciza	
	Promedio 5 Unidades	Individual	
Resistencia a la Compresión (Mínima)	30 MPa (300 Kgf/cm <sup>2</sup> )	25 MPa (250 Kgf/cm <sup>2</sup> )	
Absorción de Agua (Máxima)	11,0%	13,0%	
Normas Aplicadas	ICONTEC	NTC 4205-3; NTC 4205-2; NTC 4205-1	
	AIS	NSR 10	
	ASTM	C56, C212, C218	
Aislamiento Acústico - Valores STC (de acuerdo a composición de la pared).	Composición de la pared		Perdida de transmisión a la frecuencia [dB]
			125 Hz   250 Hz   500 Hz   1 KHz   2 KHz   4 KHz   8 KHz   16 KHz
Simple		58	50   53   52   57   63   67   69   76
Doble + Mortero de 1cm. entre las paredes.		64	54   54   61   63   71   73   73   75

#### Recomendaciones de Almacenamiento:

Se recomienda que las piezas de arcilla se almacenen en obra en un sitio plano, seco, aislado del terreno, y protegido de la escorrentía, las zonas de escombros, el almacenamiento de arenas y sitios de preparación de mezclas de mortero y concreto.

#### Recomendaciones de Instalación:

En los muros de fachada y divisorios se deben cumplir los requisitos de la **NSR10 Capítulo A.9 Elementos No Estructurales**, en su diseño y anclaje a la estructura.

La solución comprende columnetas y viguetas, enchapadas con la pieza utilizada, o disponiendo el refuerzo vertical a través de las celdas. Para el diseño se pueden seguir las recomendaciones del "Manual de Diseño - Muros divisorios y de fachada en mampostería según normas colombianas de diseño y construcción sísmo resistente" de SANTAFÉ.

En los muros de mampostería estructural o muros portantes, se deben cumplir los requisitos de la **NSR 10 TITULO D - MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL**.

**ES NATURAL QUE EL TONO GENERAL DEL LADRILLO VARIE LIGERAMENTE ENTRE DIFERENTES LOTES DE PRODUCCION.**

Para obtener una mayor homogeneidad de tono de un lote en la fachada, se recomienda tomar las piezas para el muro de diferentes estibas a la vez, 3 o 4, para conseguir la mezcla del producto.

Durante la construcción se procurará mantener el muro lo más limpio posible, esto facilitará la limpieza posterior.

Para una correcta y eficiente aplicación seguir las instrucciones de **SANTAFÉ**.

#### Recomendaciones de lavado:

Se deben seguir las recomendaciones del Manual de Lavado de **SANTAFÉ**.

El muro deberá estar seco. En la soluciones de lavado **NO USAR ACIDO MURIÁTICO NI ACIDOS FUERTES**, se deben utilizar **ácidos débiles como el ácido nítrico**, **NO pueden estar compuestas con altas concentraciones del ácido recomendado**, para su aplicación, previamente se deben retirar los excesos de mortero y polvo, y **pre humedecer el muro** (así se reduce la penetración del ácido de la solución de lavado en la pieza de arcilla). Después de refregar el muro con la solución de lavado, esta se debe retirar con abundante agua.

Siempre se debe verificar con ensayos previos la efectividad de la solución de lavado.