



Evaluación De Las Propiedades Mecánicas Y La Estabilidad Estructural De Un Sistema De Fachada Ventilada

Laura Marcela Valderrama Niño

Escuela Colombiana de Ingeniería
Posgrado en Ingeniería Civil
Bogotá, Colombia
2016

Evaluación De Las Propiedades Mecánicas Y La Estabilidad Estructural De Un Sistema De Fachada Ventilada

Laura Marcela Valderrama Niño

**Tesis para optar al título de Magister en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería
Estructural**

Directora:

I.C., M.Sc, Ph.D Nancy Torres Castellanos

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Posgrado en Ingeniería Civil
Ciudad, Colombia

2016

La tesis de maestría titulada “Evaluación De Las Propiedades Mecánicas Y La Estabilidad Estructural De Un Sistema De Fachada Ventilada” presentada por Laura Marcela Valderrama Niño, cumple con los requisitos para optar al título de Magister en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Estructural.

Nancy Torres Castellanos, M.Sc, PhD
Directora de la Tesis

Stefano Anzellini Fajardo, M.Sc.
Jurado

William Carrillo, M.Sc.
Jurado

Bogotá D.C., 17 de Noviembre de 2016

A Dios y a mi familia, que me acompañan en el desarrollo de cada proyecto y me impulsan a seguir en los momentos difíciles.

Agradecimientos

A Dios porque llena día a día mi vida de bendiciones y me ha permitido alcanzar este nuevo logro; a mis padres por ser mis guías y mi impulso, dándome alas para soñar y alcanzar cada meta; a mis hermanos por ser el motivo para seguir creciendo, a mi novio por su apoyo incondicional y a todos aquellos seres queridos que están y no están pero que siempre confiaron en mí.

A mi Directora de Tesis, la ingeniera Nancy Torres por depositar siempre su confianza en mí y ayudarme al desarrollo de la presente investigación con sus conocimientos, su dedicación y comprensión.

A la Escuela Colombiana de Ingeniería, a los docentes del programa de Maestría en Ingeniería civil, a María Isabel Espejo, secretaria del Centro de Estudios de Estructuras, a los Operarios de Laboratorio Ramón Torres, Cristian Cogollo, Luis Beltrán, Jairo Páez y a los asistentes graduados del centro, por su valiosa colaboración.

A la Ladrillera Santafé S.A. por permitirme hacer parte del desarrollo del proyecto de fachadas ventiladas, por su colaboración y patrocinio; a Hilti Colombia S.A.S por la donación de los anclajes químicos y a Sika Colombia S.A. por el adhesivo de poliuretano para el complemento de la tesis.

A todos los de que de una u otra manera contribuyeron a la realización de este proyecto.

MUCHAS GRACIAS!

Resumen

En diferentes países se han realizado investigaciones referentes al aporte energético y acústico de los sistemas de fachadas ventiladas, encontrando la contribución al medio ambiente de los mismos. Sin embargo, es indispensable evaluar el comportamiento estructural de dichos sistemas y el desempeño de las conexiones, especialmente ante la acción de cargas laterales y de viento.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente documento presenta la evaluación y el comportamiento de un sistema de fachada ventilada con piezas de arcilla, conectadas en algunos casos mecánicamente y en otras adheridas. Este sistema se ensayó ante cargas estáticas y pseudo-dinámicas, así como ante cargas de succión. De igual manera, durante el desarrollo del proyecto, se evidenció la utilidad de anclajes químicos para conectar los perfiles de soporte del sistema y así evitar el relleno de las celdas de mampostería, razón por la cual se hicieron ensayos de extracción de anclajes en piezas individuales y en muros, para verificar la funcionalidad de los mismos.

Para el desarrollo del programa experimental se construyeron 12 muros para ensayos estáticos, de los cuales 5 eran de concreto y 5 de mampostería. De igual manera se construyeron 15 muros para ensayos pseudo-dinámicos, 4 de concreto y 11 de mampostería. Para realizar los ensayos de succión se realizó el ensayo utilizando bolsas de aire dentro de la cavidad para simular las cargas de viento. Finalmente, se construyeron 6 muros, 3 con bloque N° 5 y 3 con bloque LEPVD para verificar la funcionalidad de los anclajes químicos.

La investigación demostró que el sistema funciona eficientemente cuando las piezas de arcilla son adheridas, especialmente bajo cargas de succión; ya que la falla no es súbita, sino flexible, dando tiempo de respuesta en caso de presentarse el evento de falla. Adicionalmente, los muros que permitieron evaluar de mejor manera el comportamiento de fachada ventilada fueron aquellos construidos con mampostería, ya que los de

concreto presentaron falla en la base antes que en la fachada. En cuanto a los anclajes químicos el comportamiento fue satisfactorio cuando estos estuvieron instalados con todo el sistema de fachada ventilada, sin embargo, cuando se ensayaron individualmente, se evidenció que la eficiencia de los anclajes depende de la correcta instalación de los mismos.

Palabras clave: Fachada ventilada, piezas de arcilla, conexiones mecánicas, conexiones adheridas, anclajes químicos.

Abstract

In many countries they have conducted research related to energy and acoustic behavior of ventilated facades systems, finding their contribution to the environment. However, it is essential to evaluate the structural behavior of such systems and the performance of connections, especially to the action of lateral loads and wind.

For that reason, this paper presents the evaluation and behavior of a ventilated facade system with clay tiles, mechanically connected in some cases and in other attached. This system was tested against static, pseudo-dynamic and suction loads. Similarly, during the development of the project, it was recognized the usefulness of chemical anchors to connect the profiles system support, avoiding filling the masonry cells. That is why extraction tests anchors were made in individual pieces and walls, to verify the functionality of them.

To develop the experimental program 12 walls were built for static tests, 5 in concrete and 5 in masonry. Similarly, 15 walls were built for pseudo-dynamic tests, 4 in concrete and 11 in masonry. To perform suction tests, airbags were used within the cavity to simulate wind loads. Finally, six walls, 3 with brick No. 5 and 3 with brick LEPVD was built to verify the functionality of chemical anchors.

The investigation showed that the system works best when the clay tiles are attached, especially under suction loads; because failure is not sudden, but flexible, giving response time in case of the event of failure. In addition, the walls that allowed better evaluate the behavior of ventilated facade were those built with masonry, as presented concrete failure at the base rather than the facade. As for chemical anchors was satisfactory behavior when they were installed with the entire system of ventilated facade,

however, when tested individually was shown that the efficiency of the anchors depends on the correct installation thereof.

Keywords: Ventilated facade, clay tiles, mechanical connections, bonded connections, chemical anchors.

Contenido

	Pág.
1. MARCO TEÓRICO.....	7
1.1 Fachadas	7
1.1.1 Evolución a través de la historia	8
1.2 Fachadas Ventiladas.....	17
1.2.1 Partes que las componen	17
1.2.2 Ventajas.....	19
1.2.3 Desventajas.....	20
2. ESTADO DEL ARTE.....	23
2.1 Propiedades mecánicas de fachadas ventiladas con piezas de diferentes materiales	23
2.2 Conexiones de las piezas de fachada a los perfiles de soporte	25
2.3 Comportamiento sísmico	30
2.4 Sostenibilidad.....	35
3. OBJETIVOS.....	41
3.1. Objetivo general	41
3.2. Objetivos específicos	41
4. PROGRAMA EXPERIMENTAL	43
4.1. Metodología	43
4.2. Caracterización de los materiales.....	43
4.2.1. Ensayos en muros de mampostería.....	44
4.2.2. Mortero de pega	47
4.2.3. Grouting de relleno	48
4.2.4. Concreto	48
4.2.5. Adhesivo sikaflex 252	49
4.2.6. Anclaje químico de hilti	50
4.3. Proceso constructivo de muros de mampostería y de concreto	51
4.3.1. Vigas de cimentación.....	51
4.3.2. Muros de mampostería	53
4.3.3. Muros de concreto	55
4.3.4. Vigas de remate de los muros	57
4.3.5. Instalación de la fachada	58
4.3.6. Instalación de anclajes químicos	62
4.4. Identificación de muros.....	64
4.4.1. Muros de mampostería y de concreto.....	64
4.5. Ensayos monotónicos	65

4.6.	Ensayos pseudo-dinámicos	66
4.7.	Ensayos de succión	68
4.8.	Ensayos de extracción de anclajes químicos en muros	69
5.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	71
5.1.	Mampostería.....	71
5.1.1.	Ensayo de absorción en unidades.....	71
5.1.2.	Ensayo de compresión en unidades.....	71
5.1.3.	Ensayo de compresión en muretes	72
5.2.	Ensayo de compresión en mortero de pega.....	73
5.3.	Ensayo de compresión en grouting de relleno	73
5.4.	Ensayo de compresión en cilindros de concreto	74
5.5.	Ensayos de extracciones de anclajes químicos en muestras individuales.....	74
5.6.	Ensayos monotónicos.....	78
5.6.1.	Resumen muros de mampostería.....	79
5.6.2.	Resumen muros de concreto.....	82
5.6.3.	Resumen muros de concreto y de mampostería	84
5.7.	Ensayos pseudo-dinámicos	85
5.7.1.	Resumen muros de mampostería.....	87
5.7.2.	Resumen muros de concreto.....	91
5.7.3.	Resumen muros de concreto y de mampostería	93
5.8.	Ensayos de succión	94
5.9.	Análisis de viento según la NSR-10, procedimiento simplificado.....	98
5.10.	Ensayos de extracción de anclajes en muros	100
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
6.1	Conclusiones	105
6.2	Recomendaciones	108
7.	ANEXOS.....	111
8.	BIBLIOGRAFÍA	256

Lista de fotografías

	Pág.
Fotografía 1-1 Detalle de la Cathedral of Amiens, 1220-1269	9
Fotografía 1-2 Detalle de la Catedral de Sevilla.....	9
Fotografía 1-3 Caso típico de una estructura renacentista	10
Fotografía 1-4 Casa Batlló, ejemplo de la época modernista.....	11
Fotografía 1-5 Fundación Cartier, Paris, Jean Nouvel, 1994	12
Fotografía 1-6 Grieta en muro no estructural.....	13
Fotografía 1-7 Instalación de muro cortina con piezas de vidrio	15
Fotografía 1-8 Cavity wall.....	16
Fotografía 1-9 Tabique pluvial.....	16
Fotografía 1-10 Fachada ventilada. A) Revestimiento exterior. B) Cerramiento interior. C) Estructura edificación. D) Perfiles de aluminio.....	18
Fotografía 2-1 Sistema de conexión de fachada ventilada con paneles de piedra.....	26
Fotografía 2-2 Falla de las muestras ensayadas, a) Aglomerado, b) Madera convencional, c) Madera plástica	29
Fotografía 2-3 a) Comportamiento típico de un muro independiente, b) Diferencia del comportamiento de un muro trabajando estructuralmente y otro de manera no estructural durante un sismo.....	31
Fotografía 2-4 Vista de la fachada ventilada de un edificio público ubicado en L'Aquila (Italy) después del sismo.....	32
Fotografía 2-5 Sistema de fachada ventilada con amortiguadores y actuadores	33
Fotografía 2-6 Configuración de amortiguadores.....	34
Fotografía 2-7 Comparación de las derivas de los sistemas de fachada ventilada, sin amortiguador, con el TMD y con las 5 diferentes configuraciones.	35
Fotografía 2-8 Sistema de fachada ventilada industrializada	38
Fotografía 4-1 Dimensiones en centímetros de las unidades de mampostería utilizadas, (a) LEPV5HRE, (b) LEPVD, (c) BL5, (d) BL4	45
Fotografía 4-2 Montaje del ensayo de resistencia a la compresión en unidades de mampostería	46
Fotografía 4-3 Montaje del ensayo de resistencia a la compresión en muretes	47
Fotografía 4-4 Montaje del ensayo de resistencia a la compresión en cilindros de mortero	47
Fotografía 4-5 Montaje del ensayo de resistencia a la compresión en cilindros de grouting de relleno	48

Fotografía 4-6 Montaje del ensayo de resistencia a la compresión en cilindros de concreto	49
Fotografía 4-7 Montaje del ensayo de extracción de anclaje químico en unidades de mampostería	50
Fotografía 4-8 Dimensiones y refuerzo de las vigas de cimentación	51
Fotografía 4-9 Proceso constructivo de las vigas de cimentación	52
Fotografía 4-10 Proceso constructivo de los muros de mampostería	54
Fotografía 4-11 Modulación de relleno de celdas, dimensiones y refuerzo de los muros de mampostería	55
Fotografía 4-12 Proceso constructivo de los muros de concreto	56
Fotografía 4-13 Dimensiones de los muros de concreto	57
Fotografía 4-14 Dimensiones y refuerzo de las vigas de borde superior	57
Fotografía 4-15 Proceso constructivo de las vigas de borde superior	58
Fotografía 4-16 Proceso instalación de la fachada ventilada con tornillo	60
Fotografía 4-17 Proceso instalación de la fachada ventilada con sikaflex 252	62
Fotografía 4-18 Proceso de instalación de los anclajes químicos	64
Fotografía 4-19 Montaje del ensayo monotónico	66
Fotografía 4-20 Montaje del ensayo pseudo-dinámico	67
Fotografía 4-21 Dispositivo de transferencia de carga del actuador a los muros	67
Fotografía 4-22 Montaje de ensayo de succión	68
Fotografía 4-23 Montaje de ensayo de extracción de anclajes químicos	69
Fotografía 5-1 Falla de la unidad de mampostería durante el ensayo de compresión	72
Fotografía 5-2 Falla de los muretes de mampostería durante el ensayo de compresión	72
Fotografía 5-3 Falla de los cilindros de mortero durante el ensayo de compresión	73
Fotografía 5-4 Falla de los cilindros de grouting durante el ensayo de compresión	73
Fotografía 5-5 Falla de los cilindros de concreto durante el ensayo de compresión	74
Fotografía 5-6 Fallas encontradas en los ensayos de extracción de anclajes químicos ..	78
Fotografía 5-7 Fallas encontradas en los ensayos monotónicos de los muros de mampostería	82
Fotografía 5-8 Detalles típico de la falla de los muros de concreto	83
Fotografía 5-9 Fallas encontradas en los ensayos pseudo-dinámicos de los muros de mampostería	90
Fotografía 5-10 Detalles típico de la falla de los muros de concreto	92
Fotografía 5-11 Fallas encontradas en los ensayos de succión	97
Fotografía 5-12 Numeración de anclajes en muros de ensayo	100
Fotografía 5-13 Fallas encontradas en los ensayos de extracción de anclajes químicos en muros	102
Fotografía 7-1 Montaje e instrumentación del muro M1-SF	136
Fotografía 7-2 Detalles de la falla del muro M1-SF	138
Fotografía 7-3 Montaje e instrumentación del muro M2-SF	139
Fotografía 7-4 Detalles de la falla del muro M2-SF	141
Fotografía 7-5 Montaje e instrumentación del muro M4-SF	143
Fotografía 7-6 Detalles de la falla del muro M4-SF	145

Fotografía 7-7 Montaje e instrumentación del muro M7-FA	147
Fotografía 7-8 Detalles de la falla del muro M7-FA.....	149
Fotografía 7-9 Montaje e instrumentación del muro M8-FT	151
Fotografía 7-10 Detalles de la falla del muro M8-FT	153
Fotografía 7-11 Montaje e instrumentación del muro M9-FT	155
Fotografía 7-12 Detalles de la falla del muro M9-FT	157
Fotografía 7-13 Montaje e instrumentación del muro M10-FT	159
Fotografía 7-14 Detalles de la falla del muro M10-FT	161
Fotografía 7-15 Montaje e instrumentación del muro C1-SF.....	163
Fotografía 7-16 Detalles de la falla del muro C1-SF	165
Fotografía 7-17 Montaje e instrumentación del muro C2-SF.....	166
Fotografía 7-18 Detalles de la falla del muro C2-SF	168
Fotografía 7-19 Montaje e instrumentación del muro C3-SF.....	169
Fotografía 7-20 Detalles de la falla del muro C3-SF	171
Fotografía 7-21 Montaje e instrumentación del muro C7-FT.....	172
Fotografía 7-22 Detalles de la falla del muro C7-FT	173
Fotografía 7-23 Montaje e instrumentación del muro C8-FT.....	175
Fotografía 7-24 Detalles de la falla del muro C8-FT	177
Fotografía 7-25 Montaje e instrumentación del muro M3-D-SF	180
Fotografía 7-26 Detalles de la falla del muro M3-D-SF	182
Fotografía 7-27 Montaje e instrumentación del muro M5-D-SF	183
Fotografía 7-28 Detalles de la falla del muro M5-D-SF	185
Fotografía 7-29 Montaje e instrumentación del muro M6-D-SF	186
Fotografía 7-30 Detalles de la falla del muro M6-D-SF	188
Fotografía 7-31 Montaje e instrumentación del muro M11-D-FT.....	189
Fotografía 7-32 Detalles de la falla del muro M11-D-FT	191
Fotografía 7-33 Montaje e instrumentación del muro M12-D-FTS	193
Fotografía 7-34 Detalles de la falla del muro M12-D-FTS.....	195
Fotografía 7-35 Montaje e instrumentación del muro M13-D-QFT	196
Fotografía 7-36 Detalles de la falla del muro M13-D-QFT	198
Fotografía 7-37 Montaje e instrumentación del muro M14-D-FA	199
Fotografía 7-38 Detalles de la falla del muro M14-D-FA	201
Fotografía 7-39 Montaje e instrumentación del muro M15-D-FA	203
Fotografía 7-40 Detalles de la falla del muro M15-D-FA	205
Fotografía 7-41 Montaje e instrumentación del muro M16-D-FA	206
Fotografía 7-42 Detalles de la falla del muro M16-D-FA	208
Fotografía 7-43 Montaje e instrumentación del muro M17-D-FA	209
Fotografía 7-44 Detalles de la falla del muro M17-D-FA	211
Fotografía 7-45 Montaje e instrumentación del muro M18-D-QFA.....	212
Fotografía 7-46 Detalles de la falla del muro M18-D-QFA	214
Fotografía 7-47 Montaje e instrumentación del muro C4-D-SF.....	216
Fotografía 7-48 Detalles de la falla del muro C4-D-SF	218
Fotografía 7-49 Montaje e instrumentación del muro C5-D-SF.....	219
Fotografía 7-50 Detalles de la falla del muro C5-D-SF	220

Fotografía 7-51 Montaje e instrumentación del muro C6-D-SF	221
Fotografía 7-52 Detalles de la falla del muro C6-D-SF	223
Fotografía 7-53 Montaje e instrumentación del muro C11-D-FA	224
Fotografía 7-54 Detalles de la falla del muro C11-D-FA	226
Fotografía 7-55 Montaje e instrumentación del muro C9-S-FA.....	230
Fotografía 7-56 Detalles de la falla del muro C9-S-FA	231
Fotografía 7-57 Montaje e instrumentación del muro C10-S-FA.....	232
Fotografía 7-58 Detalles de la falla del muro C10-S-FA	232
Fotografía 7-59 Montaje e instrumentación del muro C12-S-FT	234
Fotografía 7-60 Detalles de la falla del muro C12-S-FT	234
Fotografía 7-61 Montaje e instrumentación del muro C13-S-FTS.....	236
Fotografía 7-62 Detalles de la falla del muro C13-S-FTS	236
Fotografía 7-63 Montaje e instrumentación del muro C14-S-FA.....	237
Fotografía 7-64 Detalles de la falla del muro C14-S-FA	238
Fotografía 7-65 Montaje e instrumentación del muro C15-S-FT	240
Fotografía 7-66 Detalles de la falla del muro C15-S-FT	240
Fotografía 7-67 Montaje e instrumentación del muro M20-S-FA	241
Fotografía 7-68 Detalles de la falla del muro M20-S-FA.....	242
Fotografía 7-69 Montaje e instrumentación del muro M21-S-FA	244
Fotografía 7-70 Detalles de la falla del muro M21-S-FA.....	244

Lista de gráficas

	Pág.
Gráfica 5-1 Carga de extracción de anclajes químicos en bloque # 4.....	76
Gráfica 5-2 Carga de extracción de anclajes químicos en bloque # 5.....	76
Gráfica 5-3 Carga de extracción de anclajes químicos en bloque LEPVD	77
Gráfica 5-4 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muros de mampostería	80
Gráfica 5-5 Carga lateral en el plano vs Deriva muros de mampostería	80
Gráfica 5-6 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muros de concreto	82
Gráfica 5-7 Carga lateral en el plano vs Deriva muros de concreto	83
Gráfica 5-8 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento en todos los muros.....	84
Gráfica 5-9 Carga lateral en el plano vs Deriva en todos los muros.....	85
Gráfica 5-10 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento en los muros de mampostería	88
Gráfica 5-11 Carga lateral en el plano vs Deriva en los muros de mampostería	88
Gráfica 5-12 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento en los muros de concreto	91
Gráfica 5-13 Carga lateral en el plano vs Deriva en los muros de concreto	92
Gráfica 5-14 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento en todos los muros.....	93
Gráfica 5-15 Carga lateral en el plano vs Deriva en todos los muros.....	94
Gráfica 7-1 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro M1-SF.....	137
Gráfica 7-2 Carga lateral en el plano vs Deriva muro M1-SF.....	137
Gráfica 7-3 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro M2-SF.....	140
Gráfica 7-4 Carga lateral en el plano vs Deriva muro M2-SF.....	140
Gráfica 7-5 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro M4-SF.....	144
Gráfica 7-6 Carga lateral en el plano vs Deriva muro M4-SF.....	144
Gráfica 7-7 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro M7-FA.....	148
Gráfica 7-8 Carga lateral en el plano vs Deriva muro M7-FA.....	148
Gráfica 7-9 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro M8-FT	152
Gráfica 7-10 Carga lateral en el plano vs Deriva muro M8-FT	152
Gráfica 7-11 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro M9-FT	156
Gráfica 7-12 Carga lateral en el plano vs Deriva muro M9-FT	156
Gráfica 7-13 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro M10-FT	160
Gráfica 7-14 Carga lateral en el plano vs Deriva muro M10-FT	160
Gráfica 7-15 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro C1-SF	164
Gráfica 7-16 Carga lateral en el plano vs Deriva muro C1-SF	164
Gráfica 7-17 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro C2-SF	167

Gráfica 7-18 Carga lateral en el plano vs Deriva muro C2-SF	167
Gráfica 7-19 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro C3-SF	169
Gráfica 7-20 Carga lateral en el plano vs Deriva muro C3-SF	170
Gráfica 7-21 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro C7-FT	172
Gráfica 7-22 Carga lateral en el plano vs Deriva muro C7-SF	173
Gráfica 7-23 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro C8-FT	176
Gráfica 7-24 Carga lateral en el plano vs Deriva muro C8-SF	176
Gráfica 7-25 Curva de histéresis del muro M3-D-SF	181
Gráfica 7-26 Envolvente de los ciclos de histéresis del muro M3-D-SF	181
Gráfica 7-27 Curva de histéresis del muro M5-D-SF	184
Gráfica 7-28 Envolvente de los ciclos de histéresis del muro M5-D-SF	184
Gráfica 7-29 Curva de histéresis del muro M6-D-SF	187
Gráfica 7-30 Envolvente de los ciclos de histéresis del muro M6-D-SF	187
Gráfica 7-31 Curva de histéresis del muro M11-D-FT	190
Gráfica 7-32 Envolvente de los ciclos de histéresis del muro M11-D-FT	190
Gráfica 7-33 Curva de histéresis del muro M12-D-FTS	194
Gráfica 7-34 Envolvente de los ciclos de histéresis del muro M12-D-FTS	194
Gráfica 7-35 Curva de histéresis del muro M13-D-QFT	197
Gráfica 7-36 Envolvente de los ciclos de histéresis del muro M13-D-QFT	197
Gráfica 7-37 Curva de histéresis del muro M14-D-FA	199
Gráfica 7-38 Envolvente de los ciclos de histéresis del muro M14-D-FA	200
Gráfica 7-39 Curva de histéresis del muro M15-D-FA	204
Gráfica 7-40 Envolvente de los ciclos de histéresis del muro M15-D-FA	204
Gráfica 7-41 Curva de histéresis del muro M16-D-FA	206
Gráfica 7-42 Envolvente de los ciclos de histéresis del muro M16-D-FA	207
Gráfica 7-43 Curva de histéresis del muro M17-D-FA	210
Gráfica 7-44 Envolvente de los ciclos de histéresis del muro M17-D-FA	210
Gráfica 7-45 Curva de histéresis del muro M18-D-QFA	213
Gráfica 7-46 Envolvente de los ciclos de histéresis del muro M18-D-QFA	213
Gráfica 7-47 Curva de histéresis del muro C4-D-SF	217
Gráfica 7-48 Envolvente de los ciclos de histéresis del muro C4-D-SF	217
Gráfica 7-49 Curva de histéresis del muro C5-D-SF	219
Gráfica 7-50 Envolvente de los ciclos de histéresis del muro C5-D-SF	220
Gráfica 7-51 Curva de histéresis del muro C6-D-SF	222
Gráfica 7-52 Envolvente de los ciclos de histéresis del muro C6-D-SF	222
Gráfica 7-53 Curva de histéresis del muro C11-D-FA	225
Gráfica 7-54 Envolvente de los ciclos de histéresis del muro C11-D-FA	225

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 4-1 Resumen de ensayos de piezas individuales	44
Tabla 4-2 Ensayos en muros y unidades de mampostería que conformaban los muros .	44
Tabla 4-3 Ensayos de extracción en piezas individuales de mampostería	50
Tabla 5-1 Resumen de ensayos de extracciones en unidades bloque # 4	74
Tabla 5-2 Resumen de ensayos de extracciones en unidades bloque # 5	75
Tabla 5-3 Resumen de ensayos de extracciones en unidades bloque LEPVD.....	75
Tabla 5-4 Resumen de ensayos monotónicos.....	78
Tabla 5-5 Resumen de ensayos pseudo-dinámicos.....	85
Tabla 5-6 Resumen de ensayos de succión.....	95
Tabla 5-7 Presiones de viento Ps10 y presiones horizontales debido al viento para la región 2.....	99
Tabla 5-8 Presiones de viento Ps10 y presiones horizontales debido al viento para la región 5.....	99
Tabla 5-9 Resumen de ensayos de extracción de anclajes químicos en muros	100

Introducción

Los diferentes retos de la ingeniería han permitido el desarrollo de estructuras más eficientes, lo que a su vez ha incentivado el desarrollo de nuevos materiales, sistemas estructurales y métodos constructivos. Así, no sólo se han construido estructuras más eficientes, sino que de alguna manera esto ha marcado la evolución de las fachadas, ya que al extenderse la utilización de sistemas estructurales como los apertados, las fachadas pudieron liberarse de su misión portante, lo que ha permitido la utilización de materiales con menores espesores en la construcción de ellas (Paricio, 2006).

Basados en este contexto, la fachada ha pasado a formar parte del sistema no estructural en la mayoría de las estructuras convencionales, sin que esto las convierta en elementos menos importantes; ya que deben garantizar la estabilidad a lo largo del tiempo al estar expuestas a la intemperie durante la vida útil de la estructura. Adicionalmente, las fachadas han asumido una misión importante en la sostenibilidad de los edificios, permitiendo reducir costos de calefacción, disminuyendo así el impacto ambiental generado por el alto consumo eléctrico, especialmente en regiones estacionarias.

De esta manera, en los últimos años ha sido muy común la utilización de sistemas de fachadas ventiladas, siendo estas un tipo de fachada que contiene en su parte intermedia una cámara de aire ventilada a la que se encomienda la estanqueidad y la protección del interior de la estructura ante la radiación solar directa (Paricio, 2006). Estos sistemas son cada vez más utilizados en nuevas edificaciones y reconstrucción de algunas existentes, por su efectivo aislamiento térmico y su aporte sostenible a la construcción (Tusnina, 2016). Este tipo de fachadas adicionalmente, permite la utilización de elementos más livianos y acabados de diferentes características.

Sin embargo; se han presentado inconvenientes en los sistemas de fachadas ventiladas que han traído consecuencias económicas por la falta de precauciones de seguridad en

la construcción e instalación de los mismos, debido principalmente a la falta de estudios que evalúen el comportamiento estructural de las fachadas ante cargas laterales (Lucchini, Stefanazzi & Adelaide, 2013).

Debido a esto, a pesar de que existen algunos estudios realizados a nivel mundial para verificar la funcionalidad del sistema dependiendo de los materiales utilizados y sus correspondientes sistemas de anclaje, así como de los aportes sostenibles del sistema, es necesario estudiar el comportamiento de cada uno de los componentes de fachada bajo las cargas (sísmicas, de succión, entre otras) que pueden experimentar durante la vida útil de la estructura.

Con este fin, en este proyecto de investigación se buscó analizar un sistema de fachada ventilada con piezas de arcilla utilizando como soporte muros no estructurales en mampostería y en concreto, y asimismo dos tipos de conexiones del elemento de arcilla al sistema; estos fueron: conexión mediante adhesivo de poliuretano y conexión mediante tornillos autoperforantes.

La metodología utilizada para el desarrollo del presente proyecto, se compone de dos partes: la primera consistió en una búsqueda bibliográfica y la segunda en el desarrollo del programa experimental. En el presente documento, que consta de 6 capítulos, se expone en el capítulo 1, el marco teórico, en el cual se presenta la evolución de las fachadas a través de la historia, empezando desde sus orígenes, en los que su función principal eran servir de encerramiento y protección ante los agentes externos, más que de acabado arquitectónico, hasta llegar al concepto de fachada ventilada utilizado en la actualidad, la cual se cataloga como funcional y estética

Con el desarrollo del estado del arte, posteriormente en el capítulo 2 se presentan las investigaciones realizadas por diferentes autores sobre las fachadas ventiladas, los materiales que se han utilizado como piezas de fachada y su comportamiento, los estudios sobre las conexiones utilizadas (mecánicas y adheridas), el comportamiento sísmico y el aporte sostenible energético y acústico.

Seguidamente, en el capítulo 3 se enuncian los objetivos del proyecto de investigación, uno general y tres específicos.

En la segunda parte del proyecto de investigación se realizó el programa experimental, el cual se presenta en el capítulo 4 del presente documento. Aquí se plasman las variables de estudio experimental, la caracterización de los materiales utilizados y se muestran los procesos constructivos de los muros de ensayo, que fueron evaluados con y sin fachada ante cargas en el plano y con dos opciones de conexión de las piezas de fachada a los soportes. Primero se realizaron ensayos estáticos (monotónicos) a partir de los cuales se pudo establecer el protocolo de carga para realizar el ensayo pseudo-dinámico con la ayuda de un actuador dinámico. De igual manera en los muros con fachada se realizaron ensayos de succión para simular las cargas de viento. Finalmente, como opción alterna, para anclar los perfiles de soporte de la fachada a los muros de arcilla de perforación vertical, se utilizaron anclajes químicos, permitiendo la ventaja de disminuir peso de los muros, ya que no se necesitan rellenar celdas; con estos se realizaron ensayos de extracción sobre piezas individuales de mampostería y sobre muros construidos con bloque N° 5 y con bloque LEPVD.

En el capítulo 5 se presentan los resultados experimentales de las piezas individuales, seguidos de los resultados de los ensayos estáticos, para los cuales se presentan las curvas de fuerza vs desplazamiento y de fuerza contra deriva para muros de mampostería y para muros de concreto con y sin fachada. En el caso de los ensayos pseudo-dinámicos se presentan las curvas de histéresis y las envolventes respectivas. Finalmente se presentan los resultados de los ensayos de succión y de extracción de anclajes en muros.

Por último, se presentan en el capítulo 6 las conclusiones obtenidas en el desarrollo del proyecto de investigación, así como algunas recomendaciones para investigaciones futuras que se quieran realizar respecto a este tema.

1.MARCO TEÓRICO

Este capítulo se concentra en la descripción de las fachadas que se utilizan en la construcción de diferentes edificaciones, particularmente las fachadas ventiladas, las cuales se diferencian de las demás por su aporte sostenible al generar una cavidad que permite la recirculación de aire dentro de las edificaciones y un aislamiento acústico entre la estructura y el entorno.

1.1 Fachadas

Las fachadas son uno de los elementos exteriores más importantes de los edificios y que tienen mayor impacto hacia el interior de las edificaciones. Dentro de sus funciones principales se encuentran: garantizar la apariencia estética del edificio, la iluminación hacia el interior del mismo, la ventilación y el confort. Todos estos factores hacen que las fachadas tengan un impacto decisivo en el diseño y la construcción de las edificaciones (Knaack, *et al.*, 2007).

Otros autores definen la fachada como un componente que representa la autenticidad arquitectónica de cada edificio y que adicionalmente cumple un rol relacionado con el comportamiento térmico hacia el interior del mismo (McFarquhar, 2012).

Considerando lo anterior, a la hora de diseñar una fachada, se debe tener en cuenta si ésta hará parte del sistema estructural de la edificación, el acabado arquitectónico que se desea, la manera en que se garantizará la seguridad hacia el interior del edificio y los diferentes servicios que prestará (Knaack, *et al.*, 2007).

Adicionalmente, debe recalcar que el desarrollo tecnológico de las fachadas está directamente relacionado con el confort, el ahorro energético y un punto muy importante como lo es la adaptación de fachadas existentes. Esto, basados en las necesidades climáticas, geográficas y funcionales de las edificaciones.

1.1.1 Evolución a través de la historia

Las fachadas, como las conocemos hoy en día, son el resultado de una evolución a lo largo de la historia de los diferentes sistemas estructurales, los cuales plantean diversas soluciones arquitectónicas y constructivas.

Los tradicionales muros macizos, que encontramos en lo que hoy llamamos edificaciones patrimoniales, cumplían y aún cumplen a cabalidad con la función de encerramiento, resistiendo las cargas a las cuales se someten las estructuras (Paricio Ansuategui, 2006).

Sin embargo, estos muros también evolucionaron, ya que originalmente no tenían espacio para grandes ventanales y eran totalmente macizos. Fue la necesidad de permitir que el humo de las casas saliera y de esta manera mantener los espacios con mayor ventilación, lo que inicialmente condujo a que se empezaran a abrir espacios a lo largo de los muros y permitió que a través de la fachada entrara más luz hacia el interior de las edificaciones.

El método utilizado inicialmente para compensar la debilidad generada a la estructura al disminuir la sección de los muros fue la utilización de vigas como dinteles en los lugares donde se colocaban ventanas, técnica que hoy en día aún se utiliza (Knaack, et al., 2007).

Seguido a esto, durante el siglo XII y hasta el siglo XV, se presentó otro cambio importante en las fachadas de los edificios, ya que en esa época aparecieron las edificaciones de arquitectura gótica, las cuales contaban con dos elementos constructivos destacables, uno es el arco ojival, y otro la bóveda de crucería. Estos elementos presentaban una mejor distribución de cargas en la estructura y permitían que los edificios se construyeran con mayores alturas a las que se tenían en ese momento. La mayoría de las cargas se distribuían descendiendo desde las cubiertas a contrafuertes exteriores aligerando de esta manera la capacidad portante de los muros. Este detalle permitiría la utilización de grandes ventanales, lo que garantizaba que las construcciones estuvieran bien iluminadas (Zapata Poyatos, 2012).

La Fotografía 1-1 y la Fotografía 1-2 muestran detalles de catedrales de arquitectura gótica, en las cuales se pueden apreciar los arcos y las bóvedas que conforman el

sistema estructural, así como el gran tamaño de los ventanales en las fachadas, dándole a estas construcciones un signo distintivo respecto a las de la época.



Fotografía 1-1 Detalle de la Cathedral of Amiens, 1220-1269

Fuente: Tomado de Knaack, *et al.*, 2007



Fotografía 1-2 Detalle de la Catedral de Sevilla

Fuente: Tomado de Zapata Poyatos, 2012

Como siguientes etapas de la construcción aparecen la arquitectura del Renacimiento y posteriormente el Modernismo. En estas etapas se empiezan a encontrar fachadas con estilos mucho más creativos y se implementan nuevos procesos constructivos. En la época del Renacimiento por ejemplo, las columnas empiezan a ser el soporte de la estructura y las cargas son transferidas a estas por medio de arcos de punto medio, dejando de lado los arcos ojivales utilizados en la arquitectura gótica. En cuanto al Modernismo, se empieza a trabajar con hierro forjado y se plantean fachadas con acabados más blandos y curvos (Zapata Poyatos, 2012).

En la Fotografía 1-3 y la Fotografía 1-4 se muestran ejemplos típicos de las dos épocas mencionadas anteriormente, en las cuales se puede observar la particularidad de cada estilo. La Casa Batlló en Barcelona, es aún uno de los atractivos turísticos más visitados de la ciudad.



Fotografía 1-3 Caso típico de una estructura renacentista

Fuente: Tomado de Zapata Poyatos, 2012



Fotografía 1-4 Casa Batlló, ejemplo de la época modernista

Fuente: Tomado de Zapata Poyatos, 2012

Otro gran aporte al desarrollo de las edificaciones, fue la utilización del vidrio como acabado para fachadas. Este material es soportado en vigas de acero o aluminio y en algunas ocasiones no sólo se instalan capas individuales de vidrio como encerramiento, sino capas dobles, para lograr así una barrera más eficiente entre el ambiente interno y externo del edificio, permitiendo espacios más luminosos dentro del mismo (Knaack, *et al.*, 2007).

En la Fotografía 1-5 se muestra un edificio con fachada de vidrio en el que se evidencia la utilización de paneles de vidrio sencillos y dobles, a la izquierda se pueden observar las capas sencillas y a la derecha las capas dobles.



Fotografía 1-5 Fundación Cartier, Paris, Jean Nouvel, 1994

Fuente: Tomado de Knaack, *et al.*, 2007

De otro lado, el desarrollo de los sistemas constructivos y arquitectónicos condujo a la implementación del sistema aporticado, que utiliza como principales materiales estructurales el concreto y el acero. La utilización de pórticos ha permitido que las fachadas se liberen de su misión portante, y con esto, que se utilicen materiales con menores espesores en la construcción de las mismas (Paricio Ansuategui, 2006). En este sistema la resistencia estructural depende de las vigas y las columnas, estando estas últimas, en lo posible, en el interior del edificio, mientras que las fachadas tienen una independencia hacia el exterior del mismo (Knaack, *et al.*, 2007).

Es importante destacar que las estructuras aporticadas han presentado cambios importantes, entre ellos, que las luces entre columnas cada vez son mayores, pasando de 3 o 4 m a 4 m o más, esto debido a la necesidad de tener espacios más grandes dentro de los edificios. Adicionalmente, las vigas son más flexibles, y en el caso del acero, se han empleado aceros más dúctiles (M^a Adell & Vega, 2015). Sin embargo, también se ha descuidado la junta entre los muros y la estructura, ya que esta debe garantizar la estanqueidad de la estructura, lo cual es difícil de lograr teniendo en cuenta

que debe existir una dilatación para evitar que el muro tome carga (Paricio Ansuategui, 2006).

Dado lo anterior, se ha encontrado en diversas ocasiones que los muros no estructurales utilizados para el encerramiento, pueden agrietarse por las deformaciones estructurales que se pueden presentar, debido a la rigidez de los muros y la ductilidad del sistema aporticado, junto con la imposibilidad de dilatarse o expandirse ya que la estructura restringe el movimiento. Esto puede ocasionar el desplazamiento del muro respecto a la base, lo cual puede comprometer la estabilidad del sistema. En el caso particular de los edificios públicos o de oficinas, cuyas alturas de entre pisos son de aproximadamente 4 m, se ha presentado incluso desplome de piezas de los muros (M^a Adell & Vega, 2015).

La Fotografía 1-6 muestra una grieta en una fachada de ladrillo por la deformación dúctil del pórtico y la rigidez del muro no estructural, evidenciando los posibles daños que se pueden presentar en ese tipo de edificaciones por malas prácticas constructivas y de definición del proyecto.



Fotografía 1-6 Grieta en muro no estructural

Fuente: Tomado de M^a Adell & Vega, 2015

La implementación de las estructuras aporcadas ha permitido la utilización de fachadas ligeras como es el caso de los muros cortina o fachada continua de vidrio. Los muros cortina se caracterizan por ser muros de cerramiento colgados. La razón es que la pequeña sección de los perfiles verticales es generalmente de aluminio y esta resiste el peso de los vidrios y evita el trabajo a compresión, pues podrían doblarse por pandeo. De esta manera la perfilería responde fundamentalmente a las cargas de viento (Martín Chivelet & Fernández Solla, 2007). Adicional a estas cargas, se deben diseñar para resistir cargas debidas a la lluvia, cambios térmicos, cargas sísmicas y de explosión (McFarquhar, 2012).

Cabe resaltar que el comportamiento de los muros cortina depende tanto del diseño, como de la construcción y técnicas de instalación del sistema. De igual manera es fundamental realizar mantenimiento preventivo de la fachada para garantizar una vida útil prolongada de la estructura (McFarquhar, 2012). El mantenimiento debe llevarse a cabo desde el exterior, para alturas mayores a 25 metros se debe contar con una grúa que facilite el mismo y de tenerse módulos fotovoltaicos es indispensable contar con un sistema de acceso desde la cubierta del edificio (Martín Chivelet & Fernández Solla, 2007).

En la Fotografía 1-7 se observa la forma en la que se realiza la instalación de un muro cortina con piezas de vidrio apoyadas en perfiles metálicos, evidenciando la importante logística al descolgar las unidades de fachada para garantizar el empalme adecuado de las piezas.



Fotografía 1-7 Instalación de muro cortina con piezas de vidrio

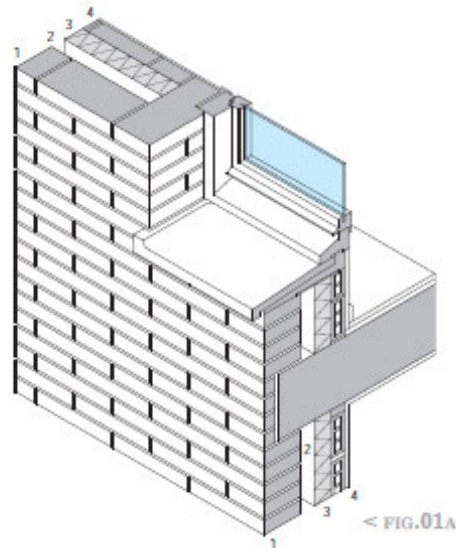
Fuente: Tomado de McFarquhar, 2012

De igual manera, dentro del desarrollo de los sistemas aporticados, aparecen los sistemas de fachada ventilada, cuyo antecesor es el Cavity Wall, un muro inglés de dos hojas con cámara ventilada entre ellas. La hoja exterior está conectada al sistema con grapas de acero galvanizado y la interior puede ser o no portante. Adicionalmente, la misión de la cámara formada entre estas dos hojas, es hacer que el agua que atraviesa la hoja exterior pueda drenar (Paricio Ansuategui, 2006).

El otro antecesor es el tabique pluvial, el cual se ha utilizado para proteger medianeras y azoteas. Es un sistema idóneo, ya que adicional a la evacuación de agua, permite una protección solar de los elementos interiores (Paricio Ansuategui, 2006). En un principio el tabique pluvial se construía con ladrillo, pero en la actualidad se ha evolucionado y se puede ver en forma de paneles prefabricados de varios materiales como fibrocemento, chapa prelacada, entre otros (Zapata Poyatos, 2012).

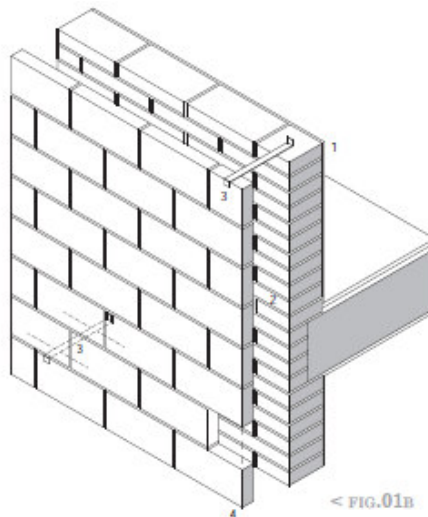
En la Fotografía 1-8 se puede observar el sistema cavity wall conformado por el muro de ladrillo (1), la cavidad intermedia (2), la aislación (3) y el tabique interior (4). Mientras que en la Fotografía 1-9 se muestra el tabique pluvial conformado por el muro de ladrillo (1),

la cavidad intermedia (2), las fijaciones al muro estructural (3) y el tabique exterior (4) (Vásquez & Prieto, 2013).



Fotografía 1-8 Cavity wall

Fuente: Tomado de Vásquez & Prieto, 2013



Fotografía 1-9 Tabique pluvial

Fuente: Tomado de Vásquez & Prieto, 2013

De esta manera, la fachada ventilada se ha consolidado en los últimos años, utilizándose en nuevas edificaciones y reconstrucción de algunas existentes (Tusnina, 2016). Este tipo de fachadas adicionalmente, permite la utilización de elementos más livianos y acabados de diferentes características como se verá en el presente trabajo.

1.2 Fachadas Ventiladas

La fachada ventilada es aquel cerramiento caracterizado por resolver la estanqueidad¹ al agua por medio de una cámara drenante continua en todo su plano. Para la definición de dicha cámara se precisan dos hojas que la limitan: la exterior, normalmente de juntas abiertas, y la interior (Pardal March & Paricio Ansuategui, 2009).

Los objetivos primordiales de este tipo de fachada son: separar el interior del exterior, bloquear los efectos adversos del ambiente exterior y mantener el confort interno con un mínimo consumo energético (Aksamija, 2009).

1.2.1 Partes que las componen

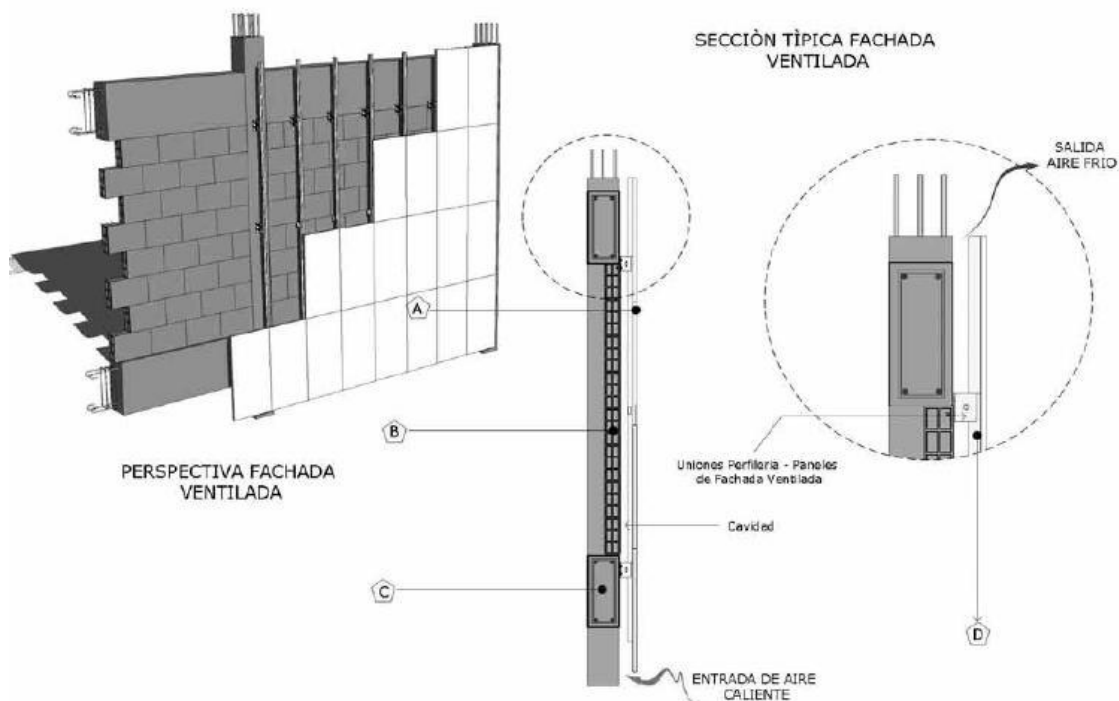
Vásquez & Prieto (2013) definen las partes constituyentes de la fachada ventilada, desde el exterior al interior, de la siguiente manera:

- **Revestimiento exterior:** capa hidrófuga que está expuesta a la radiación solar directa y, por lo tanto, debe permitir la libre contracción o expansión del material de revestimiento a través de juntas de dilatación, a resolver de acuerdo a cada caso.
- **Cerramiento interior:** capa que funciona como cerramiento del espacio interior, el cual puede o no formar parte de la estructura del edificio. Su función principal, como parte de la envolvente del edificio, es aislar térmicamente el interior.
- **Sistema de soporte:** son separadores que mantienen el revestimiento exterior en un plomo diferente al del cerramiento interior, generando el espesor de la cámara de

¹ Estanqueidad: Es la posibilidad de crear una superficie por donde no acceda el agua al interior del material en casos de lluvia (Paricio Ansuategui, 2006).

aire. Su diseño debe evitar la generación de puentes térmicos, acústicos o de humedad.

- **Escotillas:** son entradas y salidas de aire que se ubican en los extremos superior e inferior de la cámara de aire. Debido a que son puntos abiertos, deben considerar filtros que eviten la aparición de plagas, manteniendo la función de ventilar. La escotilla inferior debe asegurar la evacuación de aguas lluvia fuera de la cámara a través de un pequeño desagüe.
- **Cámara de aire:** se genera por la separación entre el revestimiento exterior y el cerramiento interior. Su principal desafío consiste en optimizar el flujo del aire, lo que se logra relacionando la superficie de las escotillas con la longitud del cerramiento, para la envolvente vertical o con la superficie del cerramiento para la envolvente horizontal.



Fotografía 1-10 Fachada ventilada. A) Revestimiento exterior. B) Cerramiento interior.

C) Estructura edificación. D) Perfiles de aluminio

Fuente: Tomado de Rubiano Martín, 2015

1.2.2 Ventajas

La fachada ventilada no es solo un elemento que sirve como acabado arquitectónico, su principal objetivo es la creación de un espacio entre la hoja exterior e interior que conforman la fachada. Esto protege el edificio de la influencia del ambiente exterior, creando un aislamiento térmico y acústico (Petrichenko, *et al.*, 2016). Así, la construcción de fachadas ventiladas mantiene controlada la temperatura dentro de los edificios, independiente de los cambios climáticos hacia el exterior de los mismos. Esto se ve compensado en una disminución en los costos de aire acondicionado y calefacción (Barabash, *et al.*, 2016).

Adicionalmente, el sistema de fachada ventilada según Pardal & Paricio (2006) otorga las siguientes ventajas:

- Garantiza la estanqueidad.
- Aporta inercia térmica.
- Facilita el paso de las instalaciones.
- Protege del fuego.
- Mejora la seguridad a la intrusión.

De otro lado, Barabash et al. (2016), plantean una descripción de las ventajas más detallada. Ellos mencionan ventajas de puntos particulares y globales del sistema, las cuales se presentan a continuación:

Ventajas de puntos específicos de la fachada ventilada

- Este tipo de fachada puede reducir significativamente el espesor de los muros de carga, permitiendo un ahorro de materiales y una disminución de la capacidad solicitada a la cimentación.
- Con la adecuada instalación de la fachada, el peligro de condensación dentro de los muros es eliminada.
- En el caso de una destrucción catastrófica de las capas de la fachada, la funcionalidad del sistema puede ser fácilmente arreglado recubriendo la cavidad con un polímero o material ligero.

- Como material para la capa superior de la fachada se puede utilizar cualquier tipo de cerámica.

Ventajas globales del sistema

- Buena trabajabilidad: No se requiere usualmente la construcción de un muro de carga, ya que la mayoría de los componentes son prefabricados.
- Rápidez de instalación.
- Procesos de construcción en seco.
- Fácil proceso de instalación de los sistemas de fachada ventilada, cuando se cuenta con personal calificado.
- Los elementos se pueden personalizar directamente en sitio.
- Brinda la posibilidad de construir el sistema en cualquier época del año.
- La vida útil de este tipo de sistemas está entre 50 y 100 años, para elementos con características correctamente diseñadas.
- Bajos costos de operación y mantenimiento.
- Permite la utilización de un gran número de materiales, haciendo posible cualquier tipo de diseño.

Estas son algunas de las razones por las que los constructores escogen las fachadas ventiladas como solución en sus edificios, basados principalmente en los beneficios encontrados a través de diversas investigaciones, algunas de las cuales se encuentran expuestas en el estado del arte del presente documento.

1.2.3 Desventajas

A pesar de que el sistema de fachada ventilada es muy eficiente, para lograr obtener la calidad y durabilidad es necesario cumplir con ciertos requisitos de instalación y calidad de los materiales. Por esto, según Barabash, et al. (2016), los principales problemas de este tipo de solución son:

- La realización de los cálculos necesarios para definir el tamaño de la cavidad ventilada, ya que si el espesor es muy grande se podrían presentar silbidos y

zumbidos debidos al impacto de las ráfagas de viento. En el caso contrario, si el tamaño de la cavidad es deficiente, la circulación de viento disminuiría, no se podría remover el contenido de humedad, el aislamiento podría colapsar y por ende la función de la cavidad sería nula.

- La selección de materiales de alta calidad.
- Garantizar la calidad de instalación del sistema de fachada, ya que el personal debe ser calificado y tener experiencia.
- Proveer la resistencia térmica requerida, esto implica la realización de diseños y pruebas de simulación para lograr los requisitos específicos del proyecto.
- Garantizar la seguridad contra el fuego, diseñando un sistema adecuado que evite que las llamas no penetren dentro de la fachada.

Estas más que debilidades del sistema de fachada ventilada, son algunas consideraciones que deben tenerse tanto en el diseño del sistema como en la construcción y operación del mismo para garantizar un correcto desempeño durante su vida útil, con base en la experiencia adquirida a lo largo de un sinnúmero de investigaciones, resumidas algunas en el estado del arte del presente documento.

2. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se recopila la información encontrada en la revisión bibliográfica acerca de las investigaciones realizadas por diversos autores, principalmente de Europa, respecto a las fachadas ventiladas, en lo concerniente a sus propiedades mecánicas, el comportamiento sísmico, el tipo de conexiones utilizadas para unir el sistema de fachada al de soporte, el cual es el alcance principal del presente documento de tesis. Igualmente a modo de conocimiento general, se presenta el aporte del sistema de fachadas ventiladas al desarrollo de materiales, las diferentes patologías encontradas en este tipo de sistemas y su aporte a la sostenibilidad.

2.1 Propiedades mecánicas de fachadas ventiladas con piezas de diferentes materiales

Dado que los sistemas de fachada ventilada ya se han implementado en diversos países, surge la necesidad de estudiar el comportamiento mecánico de cada sistema con el fin de garantizar la correcta funcionalidad de los mismos. Es por esto, que se presentan a continuación los resultados de un sinnúmero de estudios realizados por diversos investigadores sobre las propiedades mecánicas y el comportamiento de piezas de diferentes materiales que se han utilizado en este tipo de sistemas, así como las patologías encontradas en los mismos.

Por un lado, Ivorra et al. (2013), analizaron las posibles causas de la falla de un sistema de fachada ventilada con paneles de piedra en un edificio de Alcoy. La separación entre piezas eran de 20 y 50 mm. Ellos aclaran que si bien se han realizado pruebas en materiales como mármol, calcareas y cerámicas, la instalación de sistemas de fachadas ventiladas con piezas de piedra requiere ser estudiado con más cuidado, ya que debido al peso de los paneles y las presiones de viento se pueden presentar concentraciones de esfuerzos en la zona de anclaje. En el caso particular que ellos analizaron en su edificio de estudio, fue necesario realizar pruebas en piezas individuales a flexión y de pull-out para analizar la resistencia del material y del anclaje. Adicionalmente se realizaron

diseños de elementos finitos para ver el efecto climático sobre los paneles. Todos los ensayos anteriormente mencionados los llevo a concluir que para este caso en particular, cualquier falla que pudo ocurrir se debe a la baja resistencia del anclaje, ya que las piezas se comportan favorablemente bajo carga muerta y de viento. Así, concluyeron que es indispensable analizar el tipo de anclaje requerido para cada material utilizado como panel, y que en el caso particular de la piedra es importante tener en cuenta cual es el espesor a utilizar más adecuado.

De otro lado, la piedra utilizada en los sistemas de fachada ventilada en zonas aledañas al mar, como en el caso particular de un edificio en Galicia, España, ha presentado la aparición de microorganismos en la cavidad de aire y en el exterior de la fachada, dando una tonalidad verde a la misma y ocasionando daño a las piezas. Es por esto que Prieto et al. (2013), han evaluado diversos productos plásticos para controlar y disminuir este problema. Sin embargo, encontraron que esa no era una alternativa eficiente, pero evidenciaron la importancia de evaluar esta patología cuando se decida utilizar ese tipo de fachadas y materiales en zonas costeras.

Teniendo en cuenta lo anterior, es posible inferir que las piezas de piedra natural normalmente son escogidas como material de acabado, al ser este un material durable y que perdura a lo largo del tiempo, si se realiza un adecuado mantenimiento. Sin embargo, también se puede observar que los beneficios de la piedra aumentan si se escoge material de buena calidad, si se utilizan adecuadas técnicas de fabricación y selección del anclaje y si se realiza una correcta instalación de todo el sistema. Es por esto que cualquier diseño de acabado realizado con piedra debe seguir las especificaciones correspondientes, para así utilizar e instalar de manera adecuada este material (ASTM C1242 -15a).

Retomando los problemas debidos a la exposición al medio ambiente, en especial por cercanía al mar, vale la pena recalcar que estos también aparecen en piezas de cerámica utilizadas en sistemas de fachada ventilada, ocasionando grandes daños. Sin embargo, según Silvestre & de Brito (2010), la cerámica se ve afectada no sólo por acciones ambientales, sino también por errores de diseño. Debido a esto, los autores analizaron los principales problemas encontrados en algunos edificios de España y Portugal con piezas de cerámica, concluyendo que las fallas más comunes son el

desprendimiento de las piezas y la fisuración de las mismas. Por ende, es fundamental garantizar la calidad de los materiales y la manejabilidad de las piezas, incluso más que otro tipo de soluciones que utilizan materiales cementicios o piedra.

Por otra parte, se han realizado estudios sobre fachadas ventiladas con piezas de arcilla instaladas en la cara exterior de la fachada, ya que este es un material comúnmente utilizado en acabados externos, al demostrar ser un material que perdura a lo largo de los años. D’Orazio, Lenci y Graziani (2013), indican que algunos de los daños que se presentan en los sistemas de fachada ventilada con este tipo de piezas, son los cambios de color de las piezas, movimiento de los paneles, eflorescencia y crecimiento de plantas. Adicionalmente, recalcaron que los daños más probables en las piezas, son la fisuración y la falla del anclaje de los elementos; razón por la cual estudiaron la fragilidad de las piezas de arcilla en relación con la estructura de poros del material y las zonas de conexión de las piezas, encontrando que es posible conocer la fractura de los elementos a partir de la distribución y área de los poros de las piezas. Es importante recalcar que los investigadores afirman que aproximadamente un 25% de las anomalías encontradas en edificios con fachadas ventiladas con piezas de arcilla, son fisuras localizadas en la zona de conexión.

2.2 Conexiones de las piezas de fachada a los perfiles de soporte

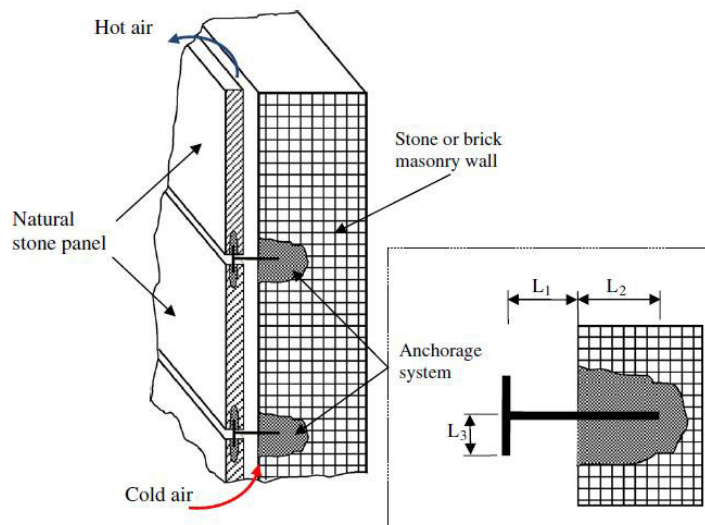
Una de las partes más importantes de los sistemas de fachada ventilada son las conexiones, ya que estas soportan el peso de las piezas de fachada durante la vida útil de la estructura. En este capítulo se presentarán los resultados de algunas investigaciones de conexiones mecánicas y adheridas.

Los tipos de conexiones más comunes son las mecánicas, que permiten unir las piezas de determinado material, a los perfiles de soporte mediante la utilización de tornillos y remaches. Sin embargo, diferentes fuentes de información sugieren que este tipo de conexiones para paneles de fachada ventilada son la causa de las principales fallas del sistema, ya que los puntos de conexión se convierten en puntos débiles de las piezas, siendo allí donde se concentran esfuerzos, esto trae como efecto adicional la disminución de la capacidad de los paneles (Ciupack, *et al.*, 2014), (Liška, *et al.*, 2015).

Adicionalmente, fisuras, deformaciones de las piezas y otros tipos de fallas pueden presentarse durante la instalación de las piezas, lo cual puede facilitar la entrada de agua y demás agentes ambientales hacia el interior de la estructura (Liška, *et al.*, 2015).

Dado lo anterior, algunos autores han evidenciado la importancia de investigar acerca del comportamiento estructural del sistema de fachada ventilada, razón por la cual Bernat-Maso *et al.* (2013), realizaron estudios de pull-out sobre los ángulos de conexión y las piezas de cerámica individuales que se utilizarían en un muro tipo cortina que funciona de manera similar a las fachadas ventiladas. Los autores encontraron que el sistema con piezas de cerámica presenta un buen comportamiento bajo cargas de viento y gravitacionales, funcionando según lo esperado. Esto da ejemplo del procedimiento a seguir antes de utilizar un sistema constructivo, siendo necesario realizar ensayos previos de las conexiones en el laboratorio para dar certeza del comportamiento que se tendrá durante la vida útil de la estructura.

De igual manera, se presentan a continuación los resultados de una investigación realizada sobre un sistema de fachada ventilada con piezas de piedra de 900 x 450 x 30 mm, conectadas mecánicamente al sistema de soporte. La Fotografía 2-1 muestra el sistema de fachada ventilada de la investigación en mención, el cual fue utilizado en la construcción de un edificio localizado en Alicante (Ivorra, *et al.*, 2013).



Fotografía 2-1 Sistema de conexión de fachada ventilada con paneles de piedra

Fuente: Tomado de Ivorra, *et al.*, 2013

En este caso en particular, Ivorra et al. (2013), analizaron el comportamiento de la estructura con fachada ventilada en piedra, bajo el efecto de carga muerta y de viento, así como el efecto de la concentración de esfuerzos en la zona de conexión, durante un colapso parcial que se presentó en el edificio. El tipo de anclaje que se había utilizado era en forma de T como el observado en la Fotografía 2-1 y luego de colapso, al presentarse la caída de algunas las piezas de la fachada, se realizaron diversos ensayos sobre los anclajes para verificar el funcionamiento de los mismos y así encontrar las posibles causas de la caída de los paneles.

Uno de los ensayos más importantes que se realizó fue la resistencia a la extracción de los anclajes que estaban instalados en sitio, así como ensayos de pull-out entre los anclajes y piezas de mampostería y entre anclajes y piezas de piedra, los cuales fueron realizados en laboratorio. Además, se realizaron análisis de elementos finitos para verificar cómo se distribuían los esfuerzos a lo largo de los paneles de piedra. Con esto, se encontró que a pesar de que los paneles tienen la capacidad para soportar cargas muertas y de viento, los anclajes utilizados no resistían las solicitaciones esperadas, resistiendo apenas un poco más de la mitad de la carga especificada en el Eurocódigo 1 en su momento (1576 N), evidenciando de esta manera la importancia de escoger un sistema de conexión apropiado y capaz de soportar las cargas a las que se pueda ver sometida la estructura (Ivorra, *et al.*, 2013).

Otros de los problemas encontrados en las conexiones mecánicas, utilizadas en paneles de piedra, han sido expuestos por De Blas et al. (2012), y se listan a continuación:

- Concentración de tensiones en la placa.
- Independencia entre el número de anclajes y el tamaño, peso o espesor de la piedra.
- Corrosión de los anclajes, o aparición de pares galvánicos con la subestructura.
- Tensiones no previstas por montaje defectuoso (encaje forzado del anclaje).
- Cada piedra debe caracterizarse para el anclaje mecánico.
- Dificultad de mantenimiento o sustitución de cualquier pieza

Los problemas anteriormente mencionados se solucionan al utilizar adhesivos en lugar de conexiones mecánicas. No obstante, es necesario tener en cuenta que la utilización

de adhesivos es menor que las conexiones tradicionales que utilizan remaches y tornillos, debido al aumento en los costos, pero principalmente por la falta de estudio del comportamiento de los mismos. Por esta razón, se realizaron ensayos sobre un tipo de pieza de fachada en aglomerado que se adhería con 5 diferentes productos, tres diseñados para adherir fachadas y dos adhesivos estructurales (Liška, Šlanhof, & Nečasová, 2014), (Liška, *et al.*, 2015).

Los investigadores, realizaron la evaluación de los adhesivos determinando la adherencia de cada uno y la resistencia al corte de los mismos. Las piezas fueron curadas según instrucciones de los proveedores de los productos y sometidas a cambios de temperatura antes de realizar los ensayos. Igualmente durante los ensayos se midieron las resistencias mencionadas y en cada caso la elongación del material.

De esta manera, se logró encontrar que una de las diferencias más importantes de los adhesivos es la elongación a la que se presenta el desgarre del producto, indicando que entra más rígido es el adhesivo, más factible será la falla de las piezas y por la tanto se tendrían que utilizar piezas de menor tamaño para disminuir este fenómeno. Adicionalmente, es importante realizar este tipo de análisis para cada tipo de pieza de fachada a utilizar, ya que los adhesivos actúan de diferente manera en cada material y es necesario que personal calificado sea el encargado de la instalación de las piezas para reducir el riesgo de caída de las mismas por instalación inadecuada (Liška, Šlanhof, & Nečasová, 2014), (Liška, *et al.*, 2015).

Para verificar el comportamiento en diversos tipos de piezas, Nečasová *et al.* (2015), realizaron ensayos de resistencia al corte y de adherencia sobre tres diferentes tipos de piezas de fachada, aglomerado, madera convencional y madera plástica; con dos tipos de adhesivos, Simson 007 SMP y Simson PanelTack HM. Los resultados encontrados mostraron gran variación en los esfuerzo obtenidos entre las diferentes piezas, pero se observó una falla cohesiva en todas las muestras, ya que siempre se desgarraba la pieza de fachada ventilada, quedando una parte adherida a la superficie como se indica en la Fotografía 2-2.



Fotografía 2-2 Falla de las muestras ensayadas, a) Aglomerado, b) Madera convencional, c) Madera plástica

Fuente: Tomado de Nečasová, *et al.*, 2015

El tipo de falla cohesiva garantiza la funcionalidad de los productos adhesivos, ya que este es el tipo de falla esperada y para la cual, en países europeos en el Eurocódigo, se incluyen características de los adhesivos, métodos de aplicación y condiciones ambientales. Sin embargo, existe un déficit de normativas que permitan verificar la funcionalidad y correcta aplicación de los puntos adheridos, sin necesidad de entrar a realizar un gran esfuerzo para entender el comportamiento de los materiales (Pasternak & Ciupack, 2014), (Ciupack, *et al.*, 2014).

Debido a lo anterior, Ciupack *et al.* (2014), realizaron ensayos con tres tipos de productos, Körapop 225-2K, SikaFast 5241 y DP 490, sobre perfiles de aluminio, para obtener la resistencia de los respectivos adhesivos mediante la Ecuación 1, la cual se ve afectada por coeficientes que permiten estandarizar para su caso en particular los valores esperados. Dichos coeficientes, contemplan el efecto de los agentes ambientales η_t , como los cambios de temperatura, y los efectos de fabricación η_m , y el espesor de los perfiles (Pasternak & Ciupack, 2014), (Ciupack, *et al.*, 2014).

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \cdot \eta_t \cdot \eta_m \cdot \eta_i$$

Ecuación 1 Resistencia de diseño de un adhesivo

Fuente: (Ciupack, *et al.*, 2014)

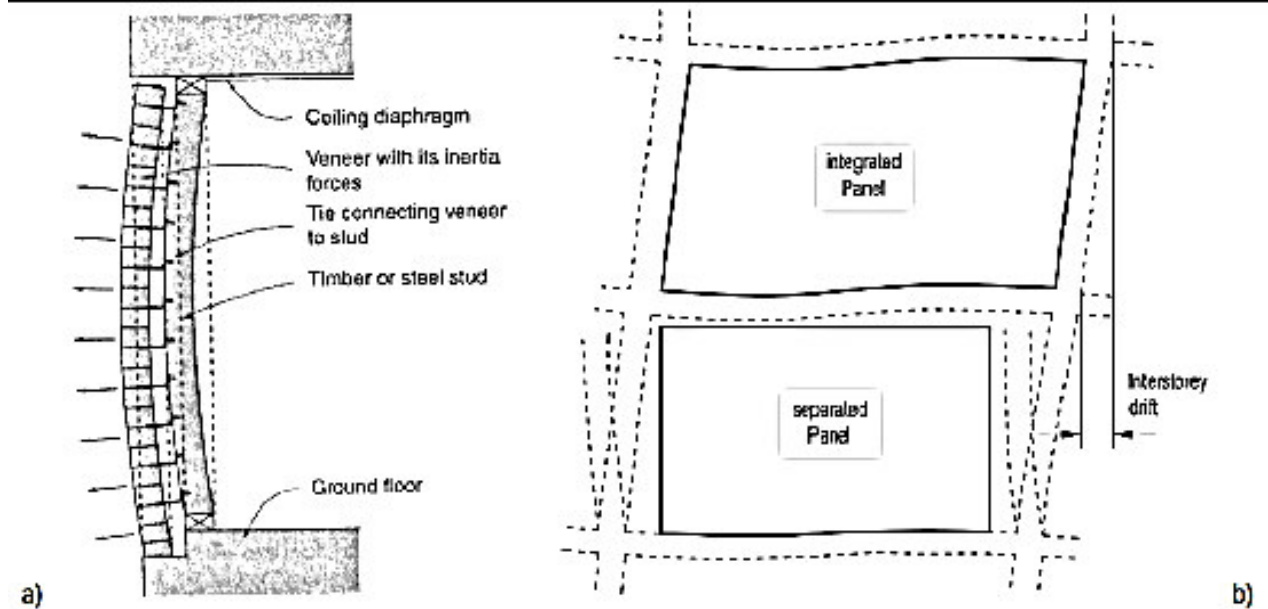
Esto evidencia que, a pesar de la incertidumbre del comportamiento de los adhesivos en la utilización de fachadas ventiladas, se pueden contemplar modelos de análisis que

permitan tener en cuenta todos los factores que pueden influir en el funcionamiento de la conexión.

2.3 Comportamiento sísmico

Muchos de los problemas encontrados durante la vida útil de edificaciones con sistemas de fachadas ventiladas radican en las pocas precauciones de seguridad en la construcción e instalación de las piezas de fachada, así como en la falta de estudios sobre el comportamiento de las fachadas ventiladas ante cargas laterales. Esto ha traído consecuencias económicas importantes, motivando a diversos investigadores a enfocarse en este tema (Lucchini, Stefanazzi, & Parisi, 2013).

Lucchini, Stefanazzi, & Parisi (2013), conscientes de la importancia de analizar el comportamiento de las estructuras con fachadas ventiladas ante la presencia de sismos, estudiaron el sismo de 5.9 de magnitud en la escala de Richter, ocurrido en L'Aquila (Italia), en abril del 2009, con el fin de simular los efectos del mismo sobre los elementos no estructurales. Para esto es importante tener en cuenta que en cualquier estructura con muros no estructurales, los puntos de conexión de los muros y las vigas no se restringen mecánicamente para así asegurar el trabajo independiente de cada elemento, así como se muestra en la Fotografía 2-3.



Fotografía 2-3 a) Comportamiento típico de un muro independiente, b) Diferencia del comportamiento de un muro trabajando estructuralmente y otro de manera no estructural durante un sismo.

Fuente: Tomado de Charleson, 2008

En el caso particular de las estructuras con fachadas ventiladas, las piezas de fachada deben ser siempre independientes mecánicamente, para disipar energía en caso de sismo y permitir las dilataciones debidas a cambios de temperatura, vibraciones acústicas o sísmicas y evitar concentración de esfuerzos (Lucchini, Stefanazzi, & Parisi, 2013),

Dentro del análisis particular del sismo ocurrido en L'Aquila, se evidenció un buen comportamiento estructural del sistema, ya que a pesar de la magnitud del sismo, sólo se presentaron pequeños movimientos de las piezas de arcilla, de unas respecto a otras, y una que otra fisura en las esquinas de las mismas, pero ninguna alcanzó la falla como se evidencia en la Fotografía 2-4.



Fotografía 2-4 Vista de la fachada ventilada de un edificio público ubicado en L'Aquila (Italy) después del sismo.

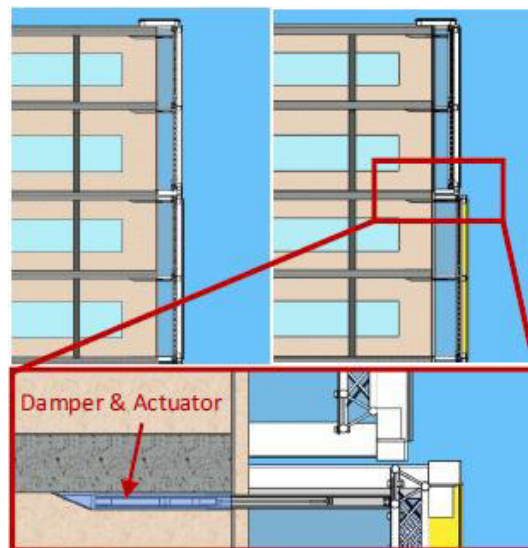
Fuente: Tomado de Lucchini, Stefanazzi, & Parisi, 2013

Teniendo en cuenta la importancia de estudiar la capacidad sísmica de las estructuras con fachadas ventiladas, Lucchini, Stefanazzi, & Parisi (2013) han demostrado a través de diversos estudios que:

- Los muros de mampostería que soportan los sistemas de fachada ventilada deben ser capaces de resistir la subestructura que contiene la capa exterior del sistema, y por ende deben comportarse adecuadamente bajo la presencia de sismos y deben estar conectados apropiadamente al sistema estructural. Así, es preferible trabajar con muros integrados al sistema principal de carga que con muros no estructurales que se encuentren dilatados.
- La utilización de piezas conectadas mecánicamente a los sistemas de soporte, debe evitarse en zonas de alta actividad sísmica, puesto que existe una alta probabilidad de daño y colapso de las piezas en caso de sismo, por la fragilidad en la conexión.

- Los sistemas de fachada ventilada, equipados con una subestructura con perfiles instalados adecuadamente, pueden ser empleados en zonas sísmicas, e incluso en edificios de gran altura.
- La implementación de piezas certificadas sísmicamente para fachada ventilada, no es suficiente para garantizar la verdadera resistencia sísmica de un elemento o del sistema completo, cuando no son apropiadas la construcción de los muros de soporte, ni la instalación del sistema.
- Una correcta subestructura, soportando las piezas de fachada, puede implementar adicionalmente accesorios que permitan absorber y disipar vibraciones y esfuerzos dinámicos.

Relacionado con este último punto, Fu & Zhang (2016) han propuesto combinar las fachadas ventiladas con amortiguadores en los edificios, para mejorar la seguridad de la estructura y la eficiencia térmica. Teniendo en cuenta que la fachada ventilada cubre el edificio, varios amortiguadores y actuadores se instalan en los perfiles de soporte del sistema de fachada como se muestra en la Fotografía 2-5. Esto permite amortiguar y reducir las vibraciones estructurales durante la presencia de un sismo ó vientos fuertes.



Fotografía 2-5 Sistema de fachada ventilada con amortiguadores y actuadores

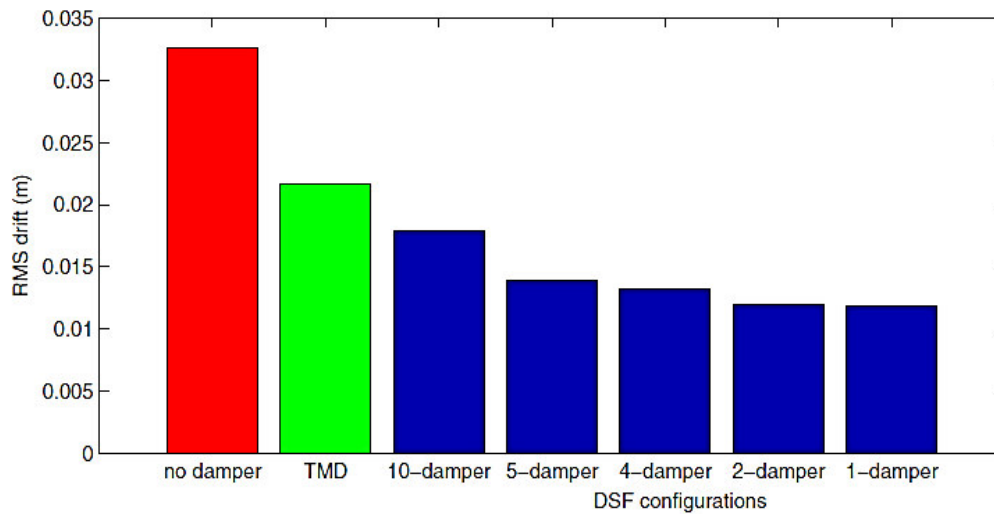
Fuente: Tomado de Fu & Zhang, 2016

Fu & Zhang (2016), tomaron como referencia un edificio de 20 pisos y plantearon 5 configuraciones diferentes de amortiguadores en la estructura como se muestra en la Fotografía 2-6. Adicionalmente compararon con un modelo que considera un amortiguador por piso llamado TMD, encontrando que en todos los casos en los que se colocan amortiguadores se presentaba una disminución de las derivas y que el comportamiento estructural fue mejor en las 5 configuraciones planteadas que en la tradicional TMD (ver Fotografía 2-7).

Floor	Number of dampers				
	1	2	4	5	10
1	Damper 1	Damper 1	Damper 1	Damper 1	Damper 1
2					Damper 2
3			Damper 3	Damper 3	
4					Damper 4
5			Damper 5	Damper 5	
6		Damper 6			Damper 6
7			Damper 7	Damper 7	
8		Damper 8			Damper 8
9			Damper 9	Damper 9	
10		Damper 10			Damper 10
11			Damper 1	Damper 1	
12		Damper 2			Damper 2
13			Damper 3	Damper 3	
14		Damper 4			Damper 4
15			Damper 5	Damper 5	
16		Damper 6			Damper 6
17			Damper 7	Damper 7	
18		Damper 8			Damper 8
19			Damper 9	Damper 9	
20		Damper 10			Damper 10

Fotografía 2-6 Configuración de amortiguadores

Fuente: Tomado de Fu & Zhang, 2016



Fotografía 2-7 Comparación de las derivas de los sistemas de fachada ventilada, sin amortiguador, con el TMD y con las 5 diferentes configuraciones.

Fuente: Tomado de Fu & Zhang, 2016

Con esto se evidenció que las derivas entre pisos aumentan considerablemente al tener amortiguadores separados, por lo cual la configuración que presentó mejor comportamiento fue la de 1 amortiguador, ya que permite rigidizar la estructura, y por consiguiente la de menor eficiencia fue la configuración de 10 amortiguadores (Fu & Zhang, 2016).

Este estudio evidencia que los sistemas de fachada ventilada no sólo presentan un buen desempeño energético, sino que también, pueden garantizar la seguridad estructural del edificio al implementar actuadores y amortiguadores al sistema. Sin embargo, Fu & Zhang (2016), recalcan que un punto importante es someter este sistema a diferentes tipos de excitaciones y evaluarlo en diferentes zonas climáticas.

2.4 Sostenibilidad

Este aspecto estuvo fuera del alcance del desarrollo de la tesis, sin embargo por conocimiento general se exponen algunos estudios al respecto, ya que la eficiencia energética de las fachadas ventiladas es un tema que ha llamado la atención de un sinnúmero de investigadores, puesto que se ha evidenciado que estos sistemas regulan la temperatura de manera más efectiva que los sistemas convencionales y por ende su

utilización en edificios altos se ha incrementado a pesar de los altos costos iniciales que representan (S. Ivorra et. al., 2013).

Las fachadas ventiladas reducen la demanda de calefacción dependiendo de la zona climática en la que se encuentren, regulando a través de la cámara de aire la temperatura hacia el interior de la estructura. Para ello es suficiente que tenga un ancho determinado (no menor de 40 mm sin incluir el aislamiento). En verano, el calor acumulado en la hoja exterior se disipa por convención a través de la cámara, disminuyendo la necesidad de aislamiento; y en invierno, la posición del aislamiento adosado por el exterior de la hoja caliente, evita el riesgo de humedad por condensación (Del Río Vega, 2008).

Estas son características comunes de todos los sistemas de fachada ventilada, lo cual permite reducir la temperatura en verano y por ende la energía consumida por los sistemas de aire acondicionado utilizados en los edificios durante esta estación del año. Por estas razones, los sistemas de fachada ventilada son hoy en día frecuentemente aplicados al diseño de edificios, particularmente al diseño de edificios bioclimáticos (Balocco, 2001).

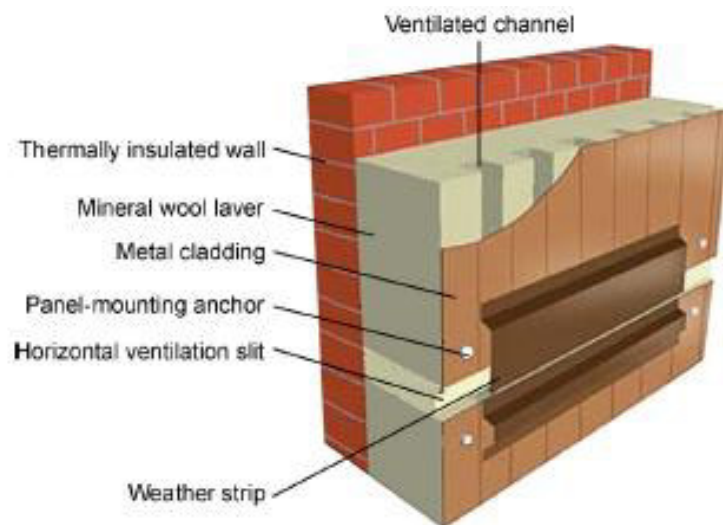
Con el fin de evaluar el comportamiento energético de las fachadas ventiladas durante el verano, Ciampi, Leccese y Tuoni (2003) estudiaron dos casos particulares. En el primero, se tiene el muro de soporte de mampostería y se varía el tamaño de la cavidad optimizando la hoja exterior, en el segundo caso el paramento exterior es dado y el muro de soporte se optimiza. El primer caso simula cuando se tiene una estructura preexistente, a la cual se le adapta un sistema de fachada ventilada y el segundo caso, cuando el arquitecto y diseñador establecen una fachada determinada y debe optimizarse el muro que soportará todo el sistema. Con el desarrollo de la anterior investigación, los autores encontraron que:

- En todos los casos el ahorro energético es mayor a medida que el espesor de la cavidad de aire aumenta.

- En cuanto aumenta la radiación solar las fachadas ventiladas se vuelven más eficientes desde el punto de vista de ahorro de energía.
- El uso de fachadas ventiladas cuidadosamente diseñadas permitirá en el verano, un ahorro de energía, incluso superior al 40%.

Los resultados anteriormente mostrados concuerdan con los encontrados en la investigación realizada por Balocco (2001) en años anteriores, en la cual se plantean diferentes modelos para comparar el comportamiento energético de diferentes sistemas de fachada ventilada, encontrando que el comportamiento de estos sistemas de fachada mejoran considerablemente cuando el espesor de la cavidad de aire es mayor de 70 mm y que el flujo de aire hacia el interior de la misma varía dependiendo de la geometría y rugosidad de los canales.

De igual manera, se han realizado estudios particulares sobre edificios existentes con sistemas de fachadas ventiladas. En Italia, Stazi et al (2011), analizaron en un edificio de oficinas, la influencia de la altura de la chimenea de la fachada ventilada mediante análisis térmicos, encontrando que entre mayor es la altura, la temperatura del aire en el canal durante el día será mayor e inferior en la noche, y que alcanzará mayor velocidad y flujo de aire. Lo anterior les permitió concluir que la fachada ventilada del edificio tiene un comportamiento adecuado para el clima del Mediterráneo y que por ende el sistema de fachada es óptimo. Nizovtsev, Belyi y Sterlygov (2014), por su parte, evaluaron un sistema de fachada de producción industrializada con paneles de aislamiento térmico y canales de ventilación mediante análisis numéricos. Cada panel está provisto de un revestimiento metálico delgado. El revestimiento está pegado sobre una capa de lana mineral, dispuesto en el lado exterior con canales longitudinales. La sección transversal de los canales de ventilación es de 20 mm × 40 mm, la separación entre canales vecinos 62 mm, ver Fotografía 2-8. Dicha investigación demostró que este sistema de fachada ventilada podría utilizarse para la construcción de edificaciones nuevas y para aquellas que requieran renovaciones, presentado un comportamiento térmico satisfactorio (Nizovtsev, Belyi y Sterlygov, 2014), (Theodosiou et al, 2015).



Fotografía 2-8 Sistema de fachada ventilada industrializada

Fuente: Tomado de Nizovtsev, Belyi y Sterlygov, 2014

Asimismo, los sistemas de fachada ventilada son adecuados para instalar paneles fotovoltaicos como hoja exterior, la cámara posterior al estar ventilada reduce las temperaturas de trabajo de los paneles, ayudando al buen rendimiento del sistema. Esta alternativa ha sido utilizada para rehabilitar la fachada de la “Torre CIS” en Manchester, e implementar un nuevo sistema de fachada en el Parque Tecnológico de Málaga (Mosteiro et al., 2016).

De otro lado, Irulegi et al. (2012) encontraron que en zonas climáticas con inviernos muy fríos, la fachada ventilada permite lograr un ahorro energético en torno al 10% y se puede incrementar a medida que la fachada ventilada cubre mayor superficie. Esto disminuye los costos de calefacción en esta época del año (Alibaba & Ozdeniz, 2016), (Lopez & Ruiz de Adana Santiago, 2014). De igual forma, Lopez & Ruiz de Adana Santiago (2014) analizaron que en España particularmente, los lugares donde se podría utilizar un sistema de fachada ventilada opaca son los que tienen climas de baja y media severidad en invierno, es decir, en las regiones meridionales y costeras de ese país, recalando además que el principal factor que aporta a la disminución en costos de calefacción es la radiación solar (Lopez & Ruiz de Adana Santiago, 2014), (Suárez et al., 2011).

Sin embargo, a pesar del buen funcionamiento de las fachadas ventiladas, se evidencia la necesidad de realizar un diseño de la cavidad de aire apropiado para las condiciones donde se utilicen dichos sistemas, ya que se pueden presentar problemas de sobrecalentamiento durante las estaciones de primavera, verano y otoño si no se cuenta con un espesor importante de la cavidad (Irulegi et al, 2012).

En el caso particular de Colombia, existe un amplio campo de acción para este tipo de tecnología, debido a su efectividad para crear confort climático en climas extremos, principalmente el cálido húmedo, que está presente en más de la mitad del territorio (Rubiano Martín, 2015). Por otro lado, adicional al aporte energético de los sistemas de fachada ventilada, estos también contribuyen con el aislamiento acústico de las edificaciones, el cual depende principalmente de la abertura de la cavidad entre las dos hojas del sistema (Guillen et al, 2007).

Así, a pesar de todas las ventajas enunciadas anteriormente, hay que considerar que el riesgo de propagación del fuego en este tipo de fachadas es extremadamente alto debido al "efecto chimenea" si las barreras de fuego no están instaladas, siendo este el caso más probable. Para prevenir este inconveniente se recomienda utilizar lana mineral, que a pesar de alcanzar temperaturas altas, conserva sus propiedades en caso de condiciones de fuego reales, mientras que otros aislantes de tipo polimérico contribuyen al crecimiento del mismo (Pastor et al, 2015). Otra de las maneras de prevenir la propagación del fuego es colocar sensores en la chimenea para identificar el momento en el que el evento se presente y de esta manera activar unos elementos transversales para que detengan el fuego (Barabash et al., 2016).

En general, la fachada ventilada no sólo protege el edificio de la influencia agresiva del ambiente externo, sino que también aporta al aislamiento térmico y acústico (Petrichenko et al., 2016). Las diferentes investigaciones demuestran que los sistemas de fachada ventilada se pueden implementar tanto en edificios nuevos como para la renovación de aquellos existentes. Sin embargo, es importante diseñar cada sistema previniendo las posibilidades de incendio y acudiendo a las características particulares de cada edificación.

Con los antecedentes descritos anteriormente es notable destacar que si bien se han realizado muchas investigaciones respecto al aporte sostenible de los sistemas de fachada ventilada, es necesario estudiar con más detalle el comportamiento estructural de los mismos, especialmente bajo cargas laterales y de viento. Las piezas utilizadas para la fachada son en arcilla, ya que este es un material tradicional y de gran reconocimiento en Colombia. Dado lo anterior, se recalca la pertinencia de la presente investigación y se enfoca en un sistema de fachadas ventiladas con piezas de arcilla, con el fin de garantizar el buen comportamiento del mismo.

3.OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Evaluar la estabilidad y comportamiento estructural ante diferentes solicitaciones de un sistema de fachada ventilada con piezas de arcilla.

3.2. Objetivos específicos

- Evaluar propiedades físicas y mecánicas de las piezas de arcilla que componen la fachada ventilada.
- Analizar la conexión más adecuada, entre adhesivo 252 y tornillos auto perforantes, de la fachada al sistema.
- Evaluar el comportamiento ante cargas laterales estáticas, pseudo-dinámicas y de succión de muros no estructurales en mampostería y en concreto con este sistema.

4.PROGRAMA EXPERIMENTAL

4.1. Metodología

Para evaluar las propiedades de los elementos componentes de la fachada ventilada, se realizaron ensayos en piezas individuales con el fin de evaluar propiedades físicas y mecánicas de las mismas. Para llevar a cabo estos ensayos se tomaron como guía las normas NTC, ASTM y protocolos del laboratorio de estructuras y materiales de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, de acuerdo con la solicitud en estudio.

De igual manera se realizaron ensayos monotónicos sobre muros sin y con el sistema de fachada adosada. Con el fin de determinar el protocolo de carga de los ensayos pseudo-dinámicos en muros a escala real.

4.2. Caracterización de los materiales

Los muros en mampostería de arcilla fueron construidos con ladrillos de perforación vertical (LEPV5HRE), por lo tanto para anclar el sistema de fachada fue necesario rellenar algunas de sus celdas con grouting y se verificó su resistencia a la compresión al igual que la del mortero de pega y del concreto de las vigas de soporte y de remate de los muros. Igualmente se evaluó la resistencia a la compresión de los bloques y de los muretes elaborados con los mismos, también se evaluó la absorción en las unidades. Las unidades de mampostería utilizadas fueron suministradas por la **LADRILLERA SANTAFÉ S.A.** En la Tabla 4-1 se presenta una descripción de la cantidad de ensayos realizados sobre piezas individuales, así como las dimensiones de los especímenes.

Tabla 4-1 Resumen de ensayos de piezas individuales

Ensayo	Dimensiones especímenes (cm)				Cantidad
	Alto	Largo	Ancho	Diámetro	
Compresión en unidades arcilla - bloque LEPV5HRE	23	33	11,5	-	5
Absorción en unidades arcilla -bloque LEPV5HRE	23	33	11,5	-	5
Compresión en cilindros de mortero	10	-	-	5	9
Compresión en cilindros de grouting	20	-	-	10	9
Compresión en cilindros de concreto	20	-	-	10	41
Compresión en primas (muretes)	47	33	11,5	-	12

4.2.1. Ensayos en muros de mampostería

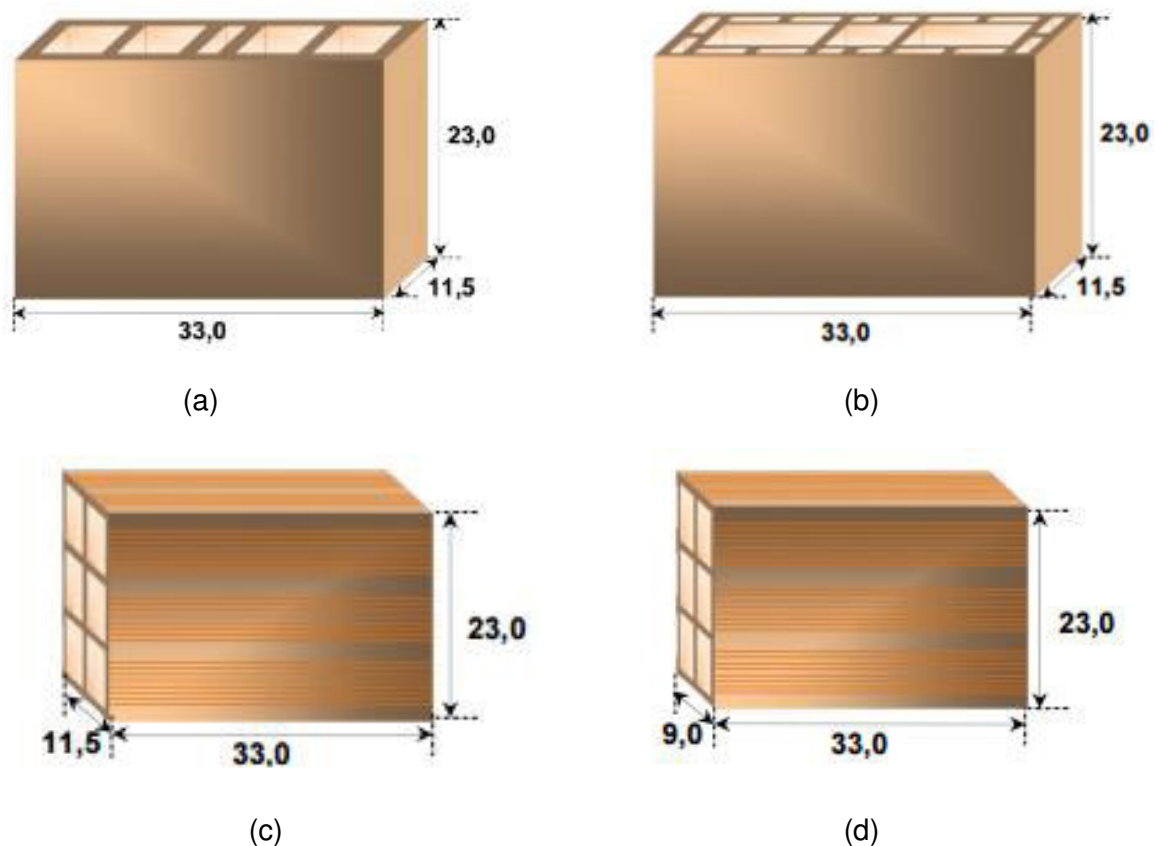
En la Tabla 4-2, se presentan los diferentes ensayos realizados sobre los muros de mampostería todos elaborados con ladrillos de perforación vertical de 5 huecos (LE). Posteriormente la Ladrillera Santafé introdujo nuevas referencias de bloques para evaluar el comportamiento de los anclajes químicos tanto en unidades como en muros de mampostería.

Tabla 4-2 Ensayos en muros y unidades de mampostería que conformaban los muros

Ensayo	Tipo de bloque	Referencia
Compresión en unidades	LE Perforación vertical cinco huecos	LEPV5HRE
Absorción en unidades	LE Perforación vertical cinco huecos	LEPV5HRE
Compresión en primas (muretes)	LE Perforación vertical cinco huecos	LEPV5HRE
Carga lateral en el plano en muros-monotónicos	LE Perforación vertical cinco huecos	LEPV5HRE
Carga lateral en el plano en muros-pseudo-dinámicos	LE Perforación vertical cinco huecos	LEPV5HRE
Succión con bolsas de aire en muros	LE Perforación vertical doble	LEPVD

Ensayo	Tipo de bloque	Referencia
	LE Perforación vertical cinco huecos	LEPV5HRE
Extracción anclaje químico en piezas individuales	LE Perforación vertical doble	LEPVD
	Bloque N° 5	BL5
	Bloque N° 4	BL4
Extracción anclaje químico en muros	LE Perforación vertical doble	LEPVD
	Bloque N° 5	BL5

La Fotografía 4-1 presenta las dimensiones de las diferentes referencias de bloques usadas para el proyecto



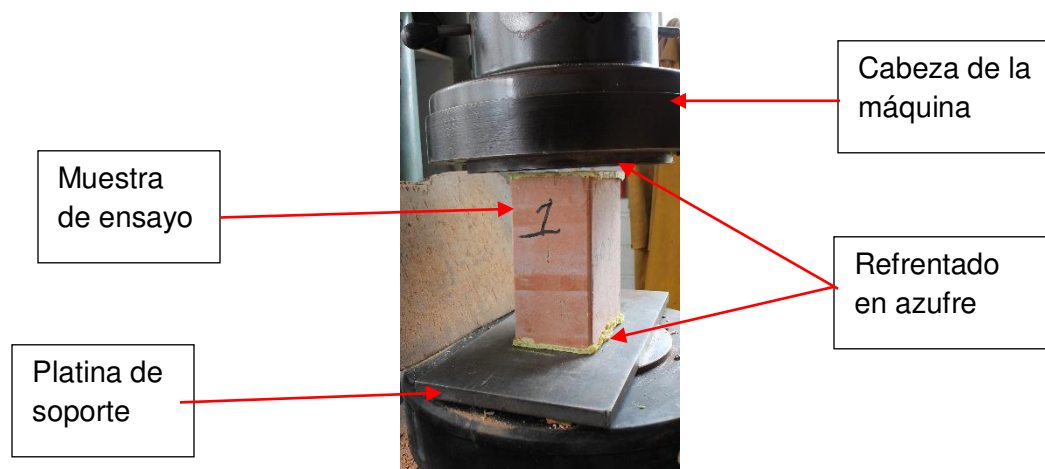
Fotografía 4-1 Dimensiones en centímetros de las unidades de mampostería utilizadas, (a) LEPV5HRE, (b) LEPVD, (c) BL5, (d) BL4

Fuente: Tomado del portafolio de productos de la Ladrillera Santafé

A continuación se presenta el montaje del ensayo de compresión en unidades de mampostería y en muretes, así como una descripción de los mismos y del ensayo de absorción en unidades.

- *Ensayo de compresión en unidades*

Este ensayo se realizó sobre unidades de LEPV5HRE, ya que con este tipo de piezas se construyeron los muros para los ensayos monotónicos y pseudo-dinámicos. El ensayo de compresión de las unidades se ejecutó de acuerdo con lo estipulado en la norma (NTC 4017). La Fotografía 4-2 muestra el montaje del ensayo de compresión.



Fotografía 4-2 Montaje del ensayo de resistencia a la compresión en unidades de mampostería

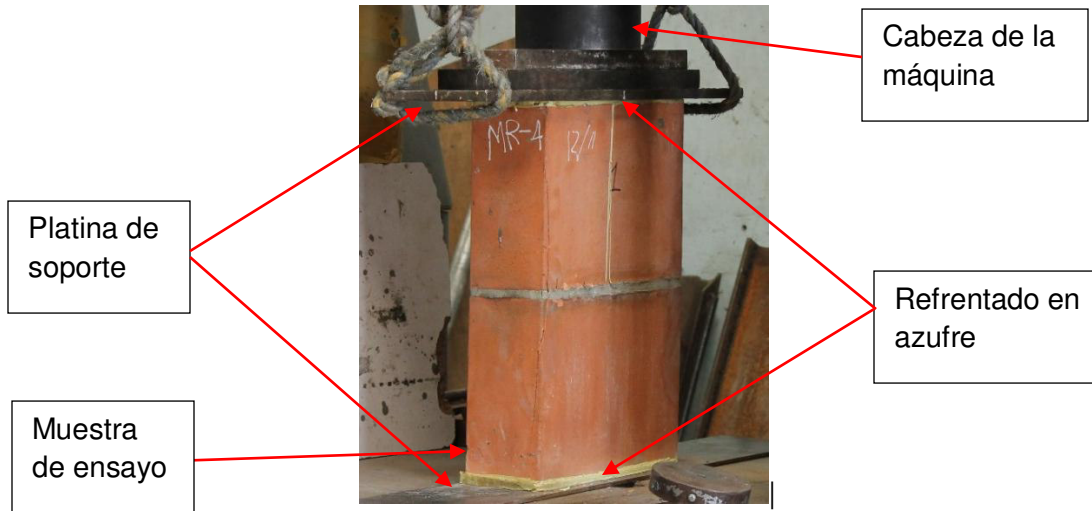
Fuente: El autor

- *Ensayo de absorción en unidades*

El ensayo se realizó siguiendo lo estipulado en la norma (NTC 4017) sobre unidades de LEPV5HRE, siendo estas las muestras más utilizadas en el proyecto.

- *Ensayo de compresión en muretes*

Para el ensayo de compresión en muretes se siguió lo establecido en la norma (NTC 3495). Los muretes se elaboraron utilizando el bloque LEPV5HRE. La Fotografía 4-3 presenta el montaje del ensayo a compresión en muretes.

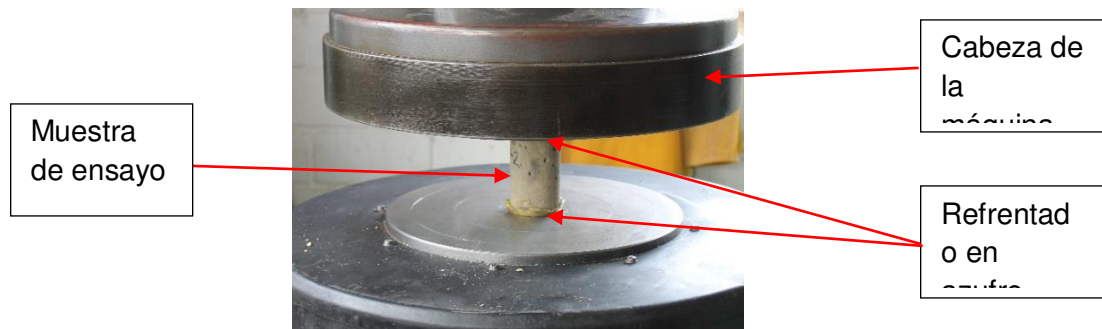


Fotografía 4-3 Montaje del ensayo de resistencia a la compresión en muretes

Fuente: El autor

4.2.2. Mortero de pega

Para esta investigación se construyeron muros a escala utilizando un mortero tipo S, con una resistencia a la compresión de 12,5 MPa. Con el fin de verificar la resistencia del mortero utilizado se elaboraron cilindros, los cuales se ensayaron siguiendo el procedimiento especificado en la norma (NTC 3546). La Fotografía 4-4 muestra el montaje del ensayo a compresión en cilindros de mortero.

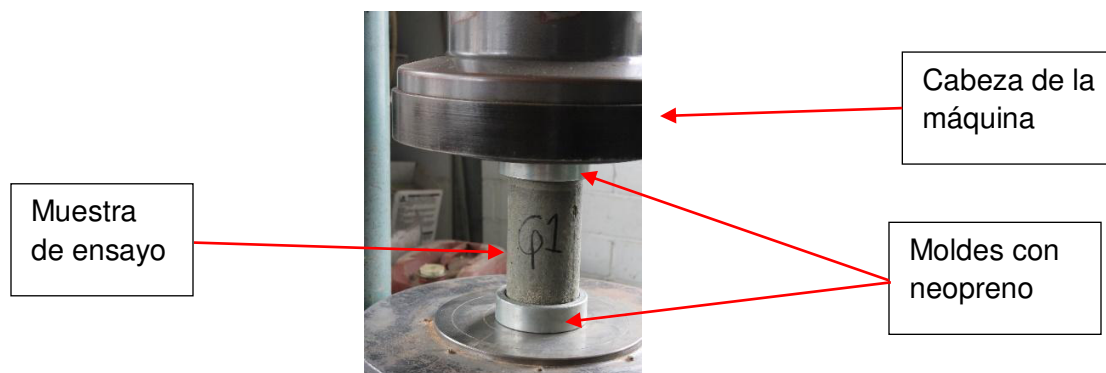


Fotografía 4-4 Montaje del ensayo de resistencia a la compresión en cilindros de mortero

Fuente: El autor

4.2.3. Grouting de relleno

Dado que una de las opciones de anclaje del sistema de fachada ventilada a los muros de mampostería, es mediante la utilización de pernos de expansión, se hace necesario llenar celdas, teniendo en cuenta la modelación de la fachada. Para verificar la resistencia del grouting de relleno, se tomaron cilindros de prueba. El ensayo siguió lo estipulado en la norma (NTC 673). La Fotografía 4-5 presenta el montaje del ensayo a compresión de los cilindros de grouting de relleno.



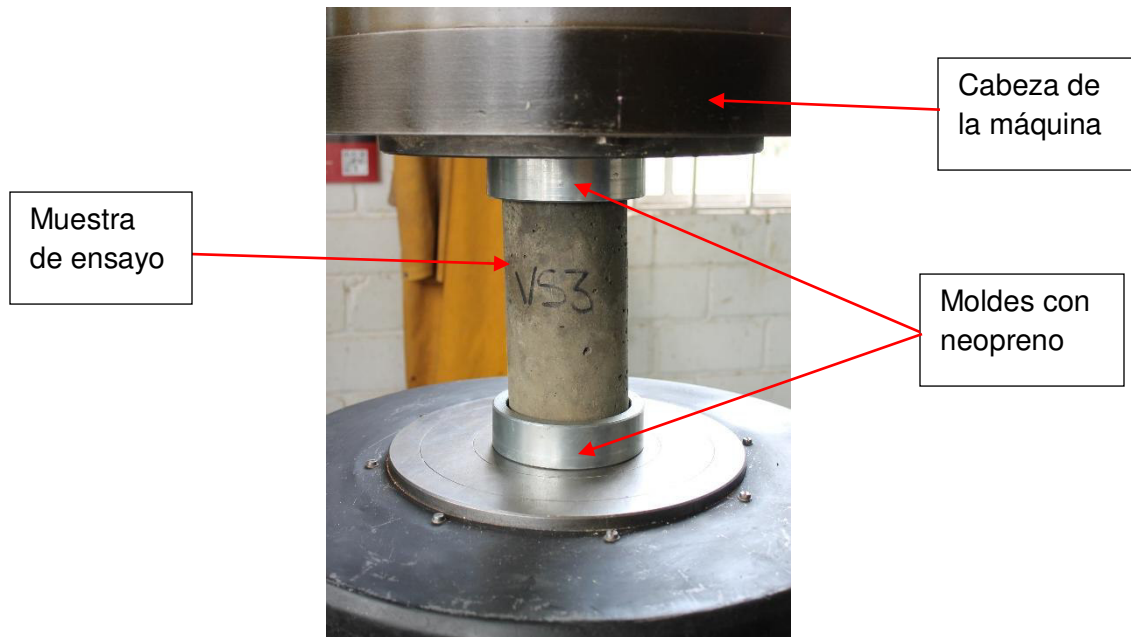
Fotografía 4-5 Montaje del ensayo de resistencia a la compresión en cilindros de grouting de relleno

Fuente: El autor

4.2.4. Concreto

Este material se utilizó para la construcción de muros no estructurales, sobre los cuales se también se instaló el sistema de fachada ventilada. De igual manera se utilizó para la construcción de vigas de cimentación de los muros y vigas superiores de borde. La resistencia de diseño a compresión para los muros y las vigas inferiores fue 21MPa, mientras que para las vigas superiores de borde fue de 28 MPa. Con el fin de verificar las resistencias anteriormente mencionadas, se tomaron cilindros de prueba.

El ensayo de resistencia a compresión sobre los cilindros de concreto se realizó siguiendo el procedimiento especificado en la norma (NTC 673). La Fotografía 4-6 muestra el montaje del ensayo a compresión anteriormente descrito.



Fotografía 4-6 Montaje del ensayo de resistencia a la compresión en cilindros de concreto

Fuente: El autor

4.2.5. Adhesivo sikaflex 252

Las propiedades mecánicas del adhesivo para unir las piezas de fachada ventilada a los perfiles no se verificaron, ya que se tomó como referencia los valores reportados por el fabricante en las hojas técnicas de dicho material, en este caso de **SIKA COLOMBIA S.A.** Cabe resaltar que estos productos fueron suministrados por la empresa en mención, quien se mostró interesada en hacer parte de esta investigación y ofreció la capacitación respectiva para la instalación correcta del adhesivo.

4.2.6. Anclaje químico de hilti

Teniendo en cuenta que llenar celdas de grouting para poder instalar el sistema de fachada ventilada, implicaba un aumento de masa y de rigidez de los muros de mampostería, se decidió evaluar el comportamiento de anclajes químicos para conectar el sistema de fachada ventilada a los muros. Para esto se realizaron inicialmente pruebas de extracción en piezas individuales en tres diferentes tipos de bloques, con el anclaje ubicado en el centro de la pieza.

La Tabla 4-3 muestra la cantidad de unidades ensayadas por cada tipo de bloque y la Fotografía 4-7 el montaje del ensayo.

Tabla 4-3 Ensayos de extracción en piezas individuales de mampostería

Tipo de bloque	N° de muestras	Longitud anclaje (mm)	ϕ Perno (in)
LEPVD	3	50	3/16"
BL5	3	85	
BL4	3	50	



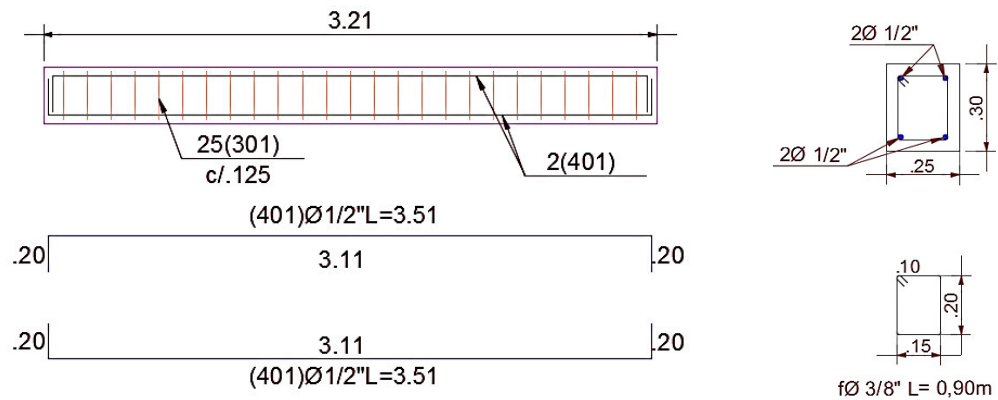
Fotografía 4-7 Montaje del ensayo de extracción de anclaje químico en unidades de mampostería.

Fuente: El autor

4.3. Proceso constructivo de muros de mampostería y de concreto

4.3.1. Vigas de cimentación

Las vigas de cimentación de soporte de los muros de concreto y de mampostería, se reforzaron con barras de 1/2", dos arriba y dos abajo para resistir los esfuerzos de flexión y como refuerzo a corte se colocaron estribos de 3/8" separados cada 0.125 m como se muestra en la Fotografía 4-8.



Fotografía 4-8 Dimensiones y refuerzo de las vigas de cimentación

Fuente: Castro N.

Se dejaron embebidas las varillas de refuerzo del muro de mampostería y en el caso de los muros de concreto, se dejó embebida la malla de refuerzo de los mismos. La Fotografía 4-9 muestra algunos de los pasos del proceso constructivo de estas vigas de cimentación.



(a) Armado de formaletas



(b) Acero figurado para las vigas



(c) Previsión de anclaje de la malla muro



(d) Colocación y vibrado del concreto.



(e) Desencofrado de vigas para muros de mampostería



(f) Desencofrado de vigas para muros de concreto

Fotografía 4-9 Proceso constructivo de las vigas de cimentación

Fuente: El autor

4.3.2. Muros de mampostería

Los muros, al ser no estructurales se diseñaron para cumplir los requisitos de elementos no estructurales del reglamento de Construcciones Sismo resistentes NSR-10, se reforzaron en los extremos para controlar la disipación de energía que pudiera presentarse, y en el centro para darle estabilidad al muro con el fin de permitir la evaluación de la fachada ventilada. Cada muro se reforzó con tres barras de refuerzo vertical de 3/8" y como refuerzo horizontal se usaron grafiles de 4mm de diámetro embebidas en la pega de mortero cada 2 hiladas de bloques. El proceso constructivo de los muros de mampostería siguió las técnicas tradicionales del medio Colombiano como se puede observar en la Fotografía 4-10.



(a) Aplomar la guía



(b) Primera hilada de ladrillos con uno de guía en cada extremo



(c) Se aplica mortero y se coloca la siguiente hilada



(d) Traba adecuada en los muros

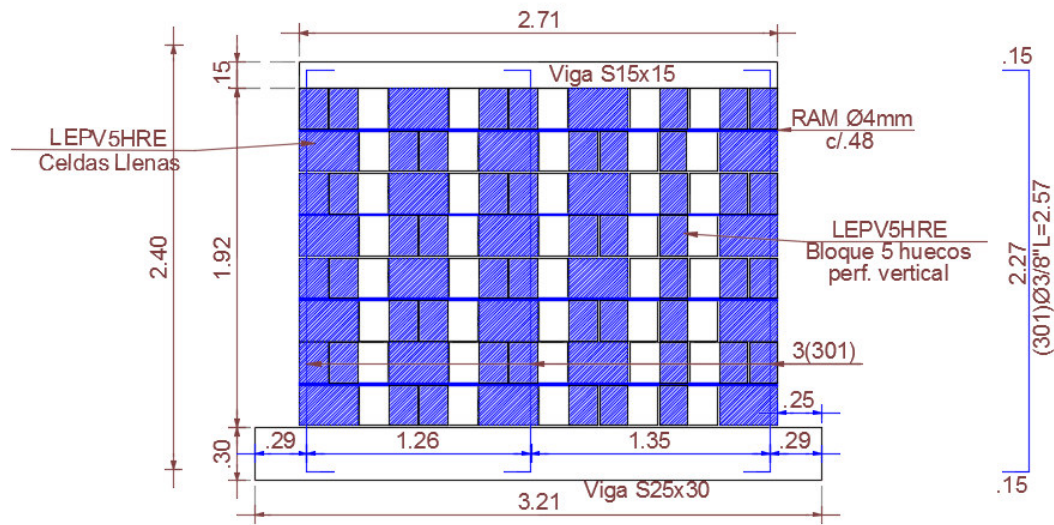


(e) Muro al terminar su construcción

Fotografía 4-10 Proceso constructivo de los muros de mampostería

Fuente: El autor

Cabe resaltar que durante la construcción de los muros se tomaron cilindros de mortero de pega para verificar las propiedades mecánicas del mismo. Adicionalmente, con el fin de anclar los perfiles del sistema de fachada a los muros, se utilizó, la configuración de llenado de celdas con grouting que se muestra en la Fotografía 4-11.



Fotografía 4-11 Modulación de relleno de celdas, dimensiones y refuerzo de los muros de mampostería
Fuente: Castro N.

4.3.3. Muros de concreto

Teniendo en cuenta que el sistema de fachada ventilada se podrá instalar tanto en muros de mampostería como de concreto, también se fabricaron muros en este último material; este concreto fue diseñado para una resistencia a la compresión de 28 MPa y se reforzaron con malla electrosoldada M-221 (6.5mm en ambos sentidos cada 150 mm) A continuación en la Fotografía 4-12 se presenta un paso a paso constructivo de este tipo de muros.



(a) Engrasado de la formaleta



(b) Armado de la formaleta sobre la viga de cimentación



(c) Vertido del concreto y se realiza el vibrado correspondiente

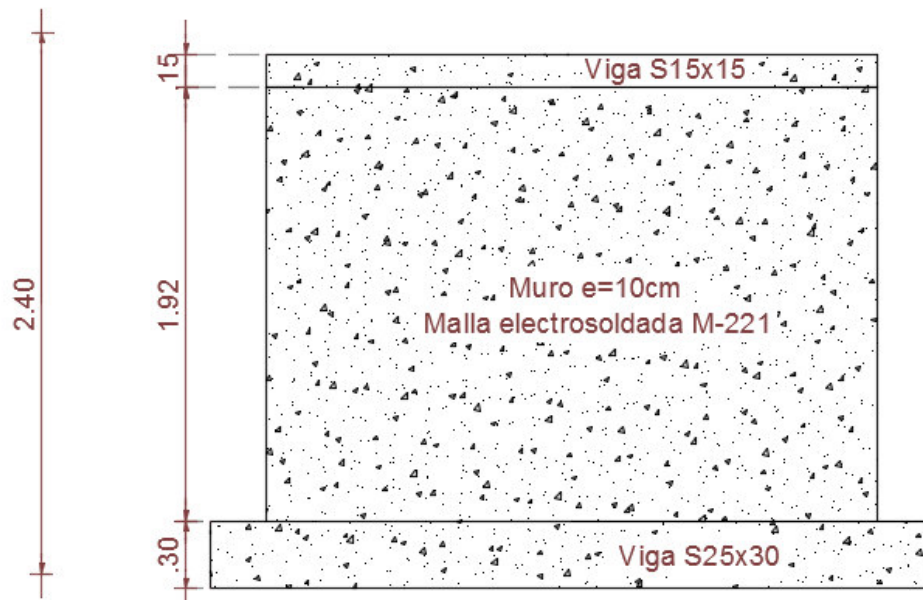


(d) Muro al terminar su construcción

Fotografía 4-12 Proceso constructivo de los muros de concreto

Fuente: El autor

El esquema general del muro de concreto se presenta en la Fotografía 4-13.

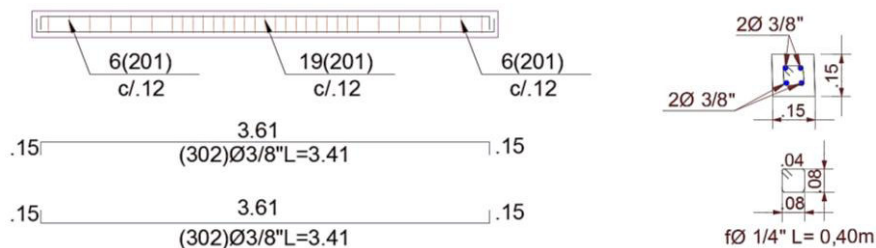


Fotografía 4-13 Dimensiones de los muros de concreto

Fuente: Castro N.

4.3.4. Vigas de remate de los muros

Se construyeron en la parte superior de los muros de concreto y de mampostería y se utilizaron de soporte para anclar el montaje de los ensayos monotónicos y dinámicos. La resistencia de diseño a la compresión del concreto de estas vigas fue 28 MPa y se reforzaron con 2 barras de 3/8" arriba y abajo. Los estribos utilizados fueron de 1/4" como se muestra en la Fotografía 4-14.



Fotografía 4-14 Dimensiones y refuerzo de las vigas de borde superior

Fuente: Castro N.

La Fotografía 4-15, presenta el proceso constructivo de la viga de remate



(a) Instalación de la formaleta en la parte superior del muro



(b) Armado de acero de refuerzo



(c) Vaciado del concreto



(d) Viga después del terminado final

Fotografía 4-15 Proceso constructivo de las vigas de borde superior

Fuente: El autor

4.3.5. Instalación de la fachada

A continuación se presenta la secuencia de instalación de los dos sistemas de conexión de las piezas de arcilla de fachada a los perfiles (Tornillos autoperforantes y el adhesivo Sikaflex 252), Estos perfiles a su vez se conectaron a los correspondientes muros de concreto y de mampostería; la ubicación de los perfiles coincide con la ubicación de

celdas llenas, que brindan anclaje a los pernos de expansión. El procedimiento de instalación se observa en la Fotografía 4-16 y fue suministrado por la Ladrillera Santafé.

4.3.5.1. Sistema de fachada ventilada con tornillos autopercutores



(a) Se realiza la conexión del ángulo de anclaje al perfil de soporte de la fachada



(b) Se perfora el muro para anclar los ángulos



(c) Se instalan los perfiles tipo boquilla en los muros



(d) Se preparan las piezas de fachada a instalar



(e) Se conectan las piezas de fachada a los perfiles utilizando tornillos autopercutores.



(f) Muros con fachada ventilada con tornillo

Fotografía 4-16 Proceso instalación de la fachada ventilada con tornillo

Fuente: El autor

4.3.5.2. Sistema de fachada ventilada con adhesivo - Sikaflex 252

Este proceso de instalación se explicará partiendo de los muros con los perfiles ya anclados; el adhesivo Sikaflex-252 fue diseñado (ancho y espesor del cordón), por **SIKA COLOMBIA S.A.** específicamente para soportar el peso de las piezas de fachada ventilada Santafé, teniendo en cuenta el tipo de material de las mismas, vale la pena resaltar que el adhesivo ha sido ensayado por Sika ante solicitudes de cargas sostenidas (Creep). Es por esto que la siguiente secuencia de instalación (Fotografía 4-17), se realizó siguiendo las recomendaciones dadas por **SIKA COLOMBIA S.A.**



(a) Se instalan los perfiles tipo boquilla en los muros



(b) Se aplica el Sika Aktivator, se deja secar y seguidamente el Sika Primer 206, que se deja secar por 20 min.



(c) Se aplica el Sika Primer 206 en los perfiles y se coloca la cinta adhesiva espaciadora, de fijación.



(d) Se aplica el Sikaflex 252



(e) Se retira la capa protectora de la cinta adhesiva



(f) Se acomodan las piezas de fachada ventilada Santafé



(g) Se adhieren las piezas de fachada ventilada Santafé



(h) Muros con fachada ventilada con adhesivo sikaflex 252

Fotografía 4-17 Proceso instalación de la fachada ventilada con sikaflex 252

Fuente: El autor

4.3.6. Instalación de anclajes químicos

Para anclar los perfiles a los muros; se exploró la alternativa de usar anclajes químicos; para una correcta instalación de estos, se siguieron las recomendaciones de la empresa **HILTI COLOMBIA S.A.S.** la secuencia de instalación se presenta en la Fotografía 4-18.



(a) Se perfora el bloque utilizando el taladro en la función de rotación



(b) Se coloca el tamiz dentro de la perforación después de limpiar la perforación



(c) Se rompe el sello del epóxico



(d) Se hacen aplicaciones de prueba



(e) Se aplica el epóxico químico dentro del tamiz



(f) Se inserta la barra roscada



(g) Anclaje químico

Fotografía 4-18 Proceso de instalación de los anclajes químicos

Fuente: El autor

4.4. Identificación de muros

4.4.1. Muros de mampostería y de concreto

Cada muro se identificó mediante una codificación que dependía del material del muro, el tipo de ensayo y el sistema de anclaje de la fachada si existía. A modo de ejemplo, se explicará la denominación con el muro M13-D-QFT:

M: indica si el muro es de Mampostería ó **C:** Indica si el muro es de concreto

13: consecutivo

D: Ensayo dinámico (cuando aplica)

Q: Anclaje químico (cuando aplica)

SF: Sin fachada ó **FA:** Fachada adherida, **FT:** Fachada con tornillo, **FTS:** Fachada con tornillo y punto de sikaflex.

S: Ensayo de succión (cuando aplica)

4.5. Ensayos monotónicos

Los ensayos monotónicos de los muros, se realizaron en el marco de carga del laboratorio de Materiales y Estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería, utilizando un gato hidráulico para la aplicación de la carga y dos deformímetros mecánicos de sensibilidad de 10^{-2} milímetros, ubicados en la cara opuesta a la aplicación de la carga. Se sometieron los siguientes muros a ensayos de este tipo:

Muros de mampostería sin fachada: **3**

Muros de mampostería con fachada con tornillo: **3**

Muro de mampostería con fachada adherida: **1**

Muros de concreto sin fachada: **3**

Muros de concreto con fachada con tornillo: **2**

El montaje e instrumentación se presenta en la Fotografía 4-19.



Fotografía 4-19 Montaje del ensayo monotónico

Fuente: El autor

4.6. Ensayos pseudo-dinámicos

Los ensayos Pseudo dinámicos de los muros, se realizaron en el marco de carga del laboratorio de Materiales y Estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería, siguiendo el protocolo de carga FEMA 461, denominado Prueba cíclica cuasi, estática. Este protocolo permite registrar los datos de carga y desplazamiento con el fin de obtener datos de histéresis en los muros sometidos a sollicitaciones de carga lateral en el plano.

Es importante resaltar que las frecuencias de ensayo están entre 0.1 y 0.2 Hz, razón por la cual, estos ensayos se denominan pseudo-dinámicos, ya que no se simulan exactamente las frecuencias producidas por un sismo verdadero.

La instrumentación se realizó por medio de transductores de desplazamiento lineal (LVDT's) y se aplicó la carga con el actuador, para lo cual fue necesario colocar en la viga de remate del muro un aditamento de transferencia de carga al muro, este

aditamento consistió en dos platinas laterales de ½” de espesor que se anclaron a la viga superior por medio de pernos de varilla roscada de ½” de diámetro con un epóxico para que quedará fijo. Finalmente el actuador se conectó a la ménsula.

A continuación en la Fotografía 4-20 se presenta el montaje de los ensayos pseudo-dinámicos y en la Fotografía 4-21 se presenta el detalle del anclaje del actuador.



Fotografía 4-20 Montaje del ensayo pseudo-dinámico

Fuente: El autor



(a) Durante el montaje



(b) Actuador conectado a la ménsula

Fotografía 4-21 Dispositivo de transferencia de carga del actuador a los muros

Fuente: El autor

Se sometieron los siguientes muros a ensayos de este tipo:

Muros de concreto sin fachada: **3**

Muros de concreto con fachada adherida: **1**

Muros de mampostería sin fachada: **3**

Muros de mampostería con fachada con tornillo: **1**

Muros de mampostería con fachada con tornillo y punto de sikaflex: **1**

Muro de mampostería con fachada adherida: **4**

Muros de mampostería con anclaje químico y fachada con tornillo: **1**

Muros de mampostería con anclaje químico y fachada adherida: **1**

4.7. Ensayos de succión

Se realizaron ensayos de succión de la fachada ventilada utilizando bolsas de aire entre la fachada y el muro de soporte, ver Fotografía 4-22, las bolsas se iban llenando de aire utilizando compresores, hasta que se alcanzó la falla de los elementos de fachada.



Fotografía 4-22 Montaje de ensayo de succión

Fuente: El autor

4.8. Ensayos de extracción de anclajes químicos en muros

Se realizaron ensayos de extracción de anclajes químicos en 6 muros, 3 contruidos con bloque #5 y 3 con bloque LEPVD. En cada muro se instalaron 4 anclajes, para un total de 24 anclajes químicos instalados. La carga se aplicó con un gato hidráulico de émbolo hueco, hasta que se extrajo completamente cada anclaje. El montaje utilizado para realizar la extracción de los anclajes se presenta en la Fotografía 4-23.



Fotografía 4-23 Montaje de ensayo de extracción de anclajes químicos

Fuente: El autor

5.RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de los ensayos individuales realizados a cada uno de los materiales utilizados en la investigación, así como en los muros a escala.

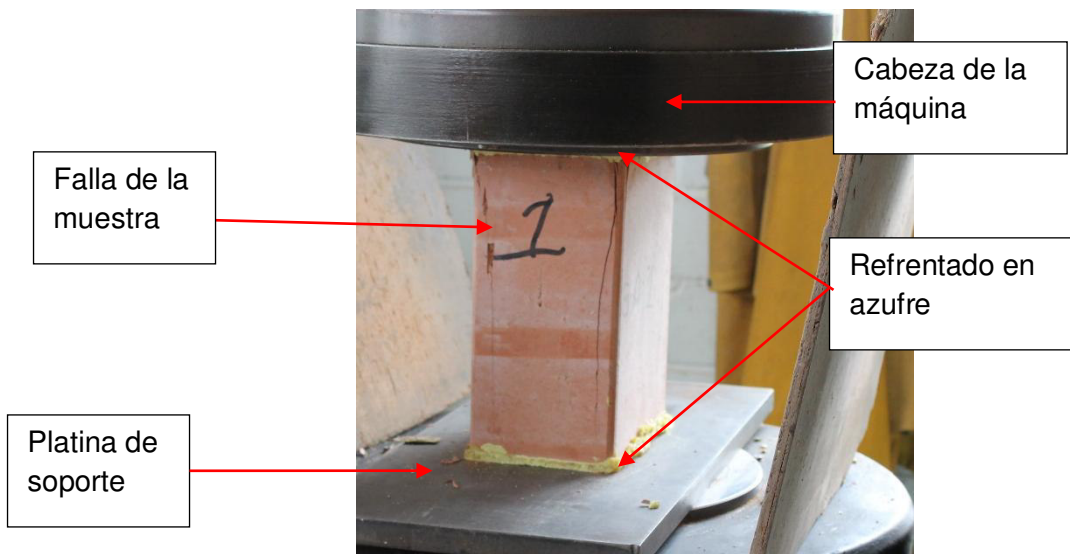
5.1. Mampostería

5.1.1.Ensayo de absorción en unidades

En el ensayo de absorción en las unidades completas, se obtuvo un valor promedio de absorción de 10,6 % y en las medias unidades de 10,9 %, siendo aproximadamente el mismo valor de absorción, lo cual concuerda con lo esperado por ser el mismo tipo de bloque. En el Anexo B se presentan los resultados de estos ensayos.

5.1.2.Ensayo de compresión en unidades

Los resultados detallados de este ensayo se presentan en el Anexo A de este documento. La Fotografía 5-1 muestra la falla de una de las unidades.

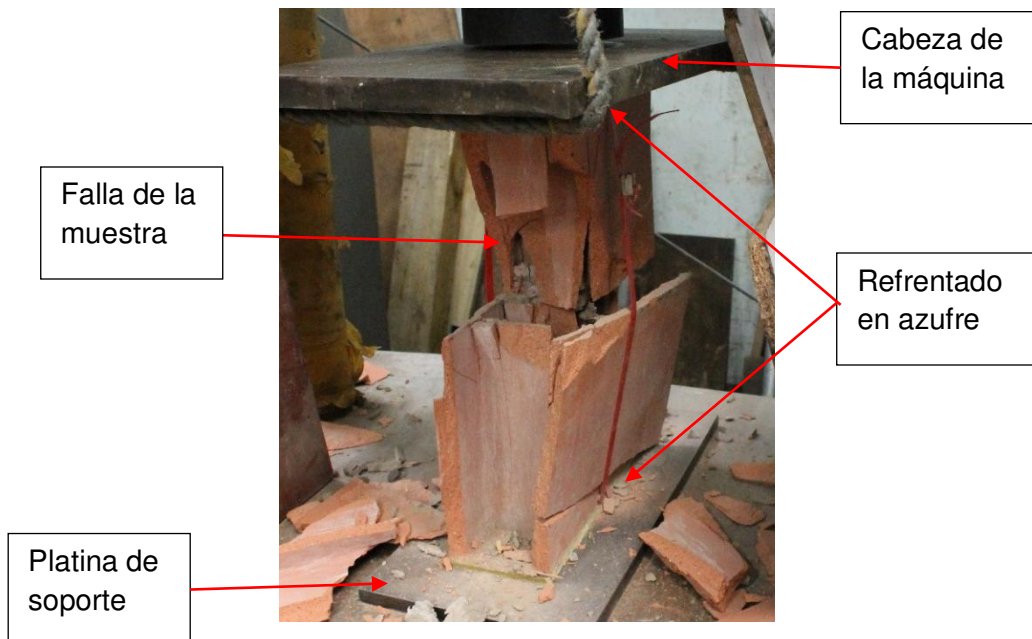


Fotografía 5-1 Falla de la unidad de mampostería durante el ensayo de compresión

Fuente: El autor

5.1.3. Ensayo de compresión en muretes

Los resultados detallados de este ensayo se presentan en el Anexo C de este documento. La Fotografía 5-2 muestra la falla de uno de los muretes ensayados.



Fotografía 5-2 Falla de los muretes de mampostería durante el ensayo de compresión

Fuente: El autor

5.2. Ensayo de compresión en mortero de pega

El resultado de compresión de los cilindros de mortero de pega se presenta en el Anexo D. La Fotografía 5-3 presenta la falla típica de los mismos.



Fotografía 5-3 Falla de los cilindros de mortero durante el ensayo de compresión

Fuente: El autor

5.3. Ensayo de compresión en grouting de relleno

El resultado de compresión de los cilindros de grouting de relleno se presenta en el Anexo E.. La Fotografía 5-4 presenta la falla de una de las unidades.

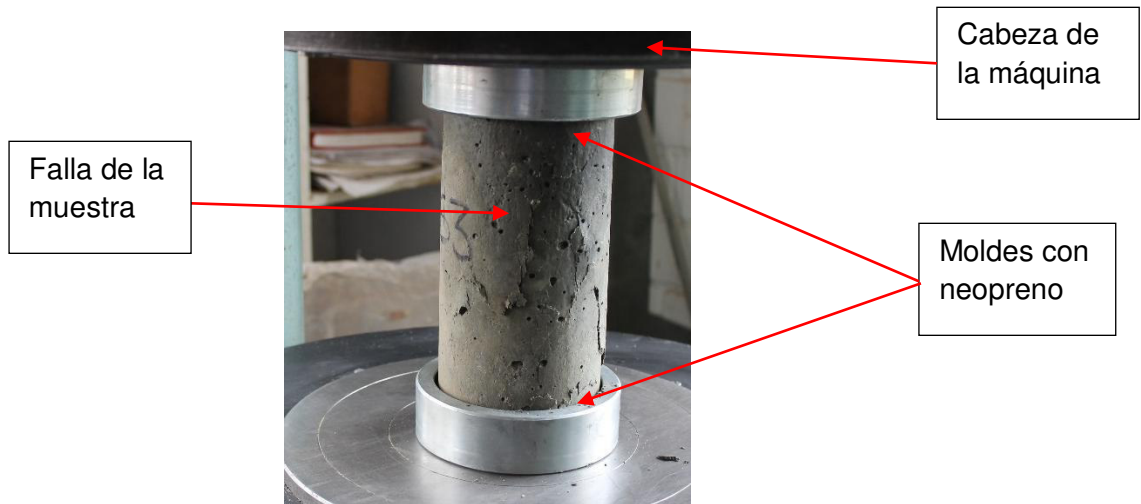


Fotografía 5-4 Falla de los cilindros de grouting durante el ensayo de compresión

Fuente: El autor

5.4. Ensayo de compresión en cilindros de concreto

El resultado de los ensayos de los cilindros de concreto para verificar la resistencia de las vigas inferior y superior y de los muros de concreto se presenta en el Anexo F de este documento. . La Fotografía 5-5 muestra la falla de uno de los cilindros ensayados.



Fotografía 5-5 Falla de los cilindros de concreto durante el ensayo de compresión

Fuente: El autor

5.5. Ensayos de extracciones de anclajes químicos en muestras individuales

El resultado de los ensayos de extracciones de anclajes químicos en unidades se presenta en las siguientes La Tabla 5-1 – 4-3, para los bloques No. 4, No. 5 y el LEPVD respectivamente.

Tabla 5-1 Resumen de ensayos de extracciones en unidades bloque # 4

TIPO DE BLOQUE	MUESTRA	CARGA DE FALLA (kg)
Bloque # 4	1	112
	2	162
	3	72
Promedio		115,3
Dispersión		39,1%

Tabla 5-2 Resumen de ensayos de extracciones en unidades bloque # 5

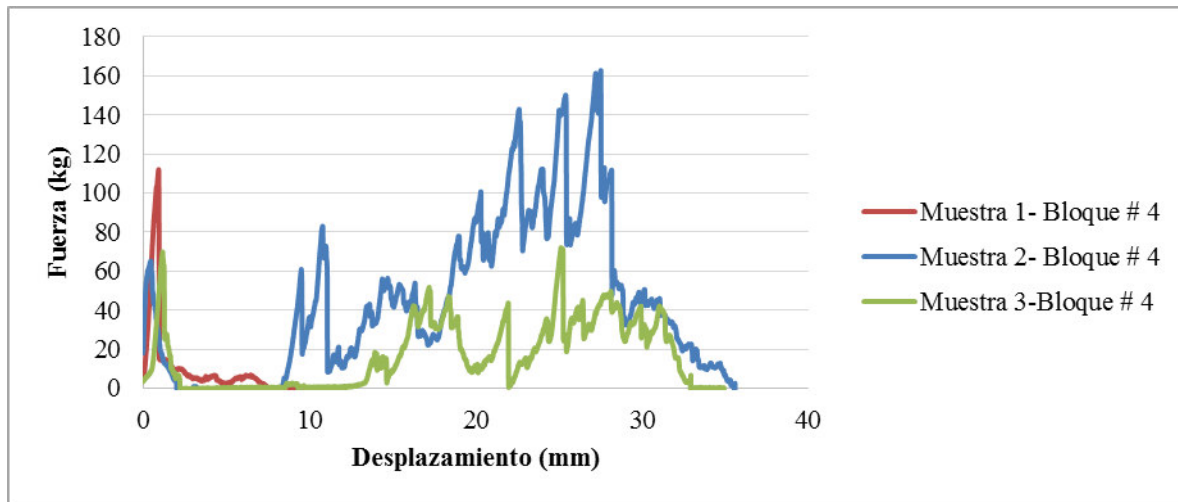
TIPO DE BLOQUE	MUESTRA	CARGA DE FALLA (kg)
Bloque # 5	1	137
	2	125
	3	136
Promedio		132,7
Dispersión		5,0%

Tabla 5-3 Resumen de ensayos de extracciones en unidades bloque LEPVD

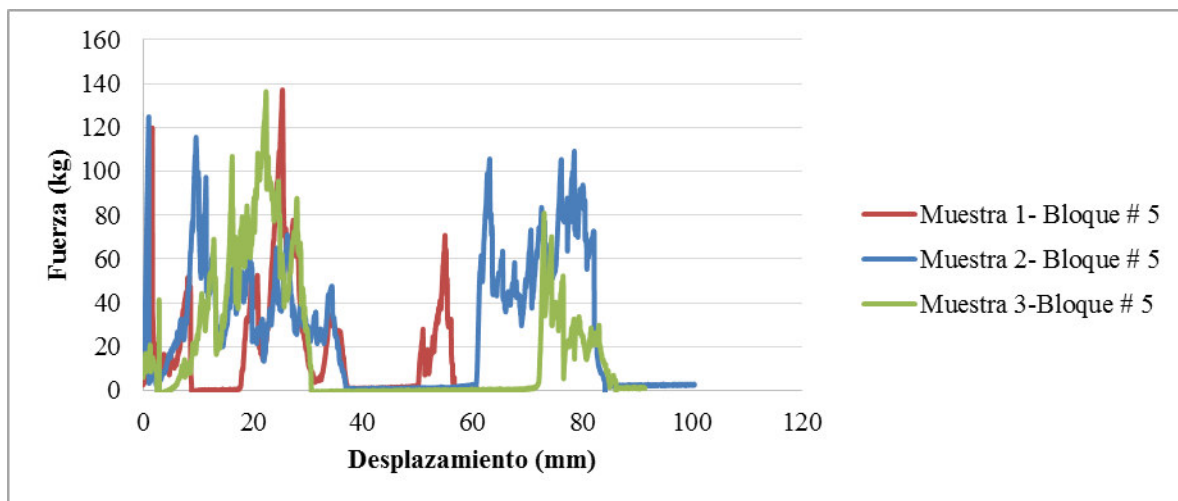
TIPO DE BLOQUE	MUESTRA	CARGA DE FALLA (kg)
Bloque LEVPD	1	364
	2	330
	3	298
Promedio		330,7
Dispersión		10,0%

Las fuerzas de extracción de anclajes químicos del bloque # 4 presentó una dispersión de 39%, siendo está la más alta y resistiendo la menor carga, con un promedio de 115 kg contra 133 kg y 331 kg en los otros tipos de bloque. Asimismo, es posible observar que el bloque que más carga al arrancamiento resistió fue el bloque LEPVD superando en más del doble a los otros dos tipos. De igual manera se muestran las gráficas de fuerza vs desplazamiento para cada una de las muestras, por tipo de bloque.

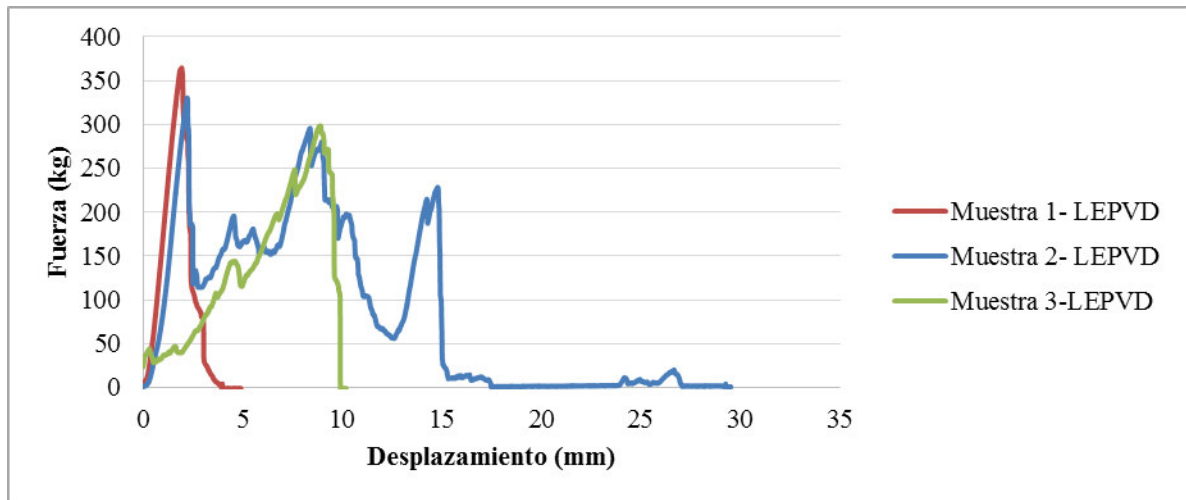
En las tres gráficas se evidencia un comportamiento de pérdida y recuperación de capacidad de anclaje a medida que los bloques se van fisurando y es posible evidenciar cuando el anclaje se está deslizando, ya que se siguen presentando deformaciones pero el anclaje ya no resiste carga.



Gráfica 5-1 Carga de extracción de anclajes químicos en bloque # 4

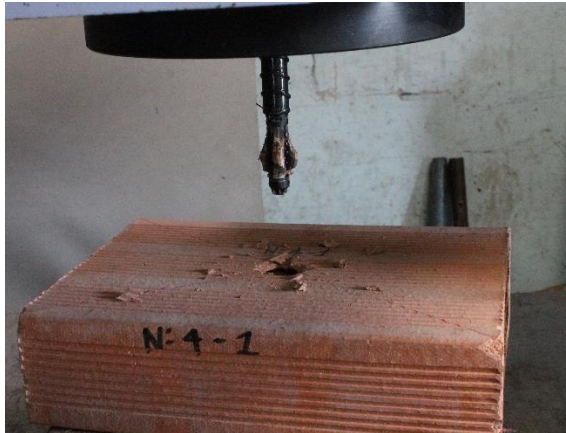


Gráfica 5-2 Carga de extracción de anclajes químicos en bloque # 5

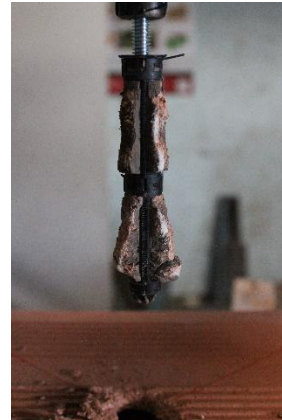


Gráfica 5-3 Carga de extracción de anclajes químicos en bloque LEPVD

Es posible observar en la Fotografía 5-6 el anclaje extraído en una muestra de cada tipo de bloque en estudio y en los detalles (c) y (d) se evidencia que intenta formarse el cono de extracción.



(a) Extracción de anclaje en bloque #4



(b) Extracción de anclaje en bloque # 5



(c) Extracción anclaje en bloque LEPVD



(d) Intento de formación del cono de extracción

Fotografía 5-6 Fallas encontradas en los ensayos de extracción de anclajes químicos

Fuente: El autor

5.6. Ensayos monotónicos

La Tabla 5-4, resumen los datos obtenidos en el ensayo de los muros durante los ensayos monotónicos. Se reportan, las cargas asociadas a algunos valores representativos de derivas, así como la carga máxima soportada por cada uno de ellos. Adicionalmente, en el Anexo G se presentan para cada uno de los muros ensayados, las curvas de carga vs desplazamientos y carga vs deriva y el tipo de falla presentada.

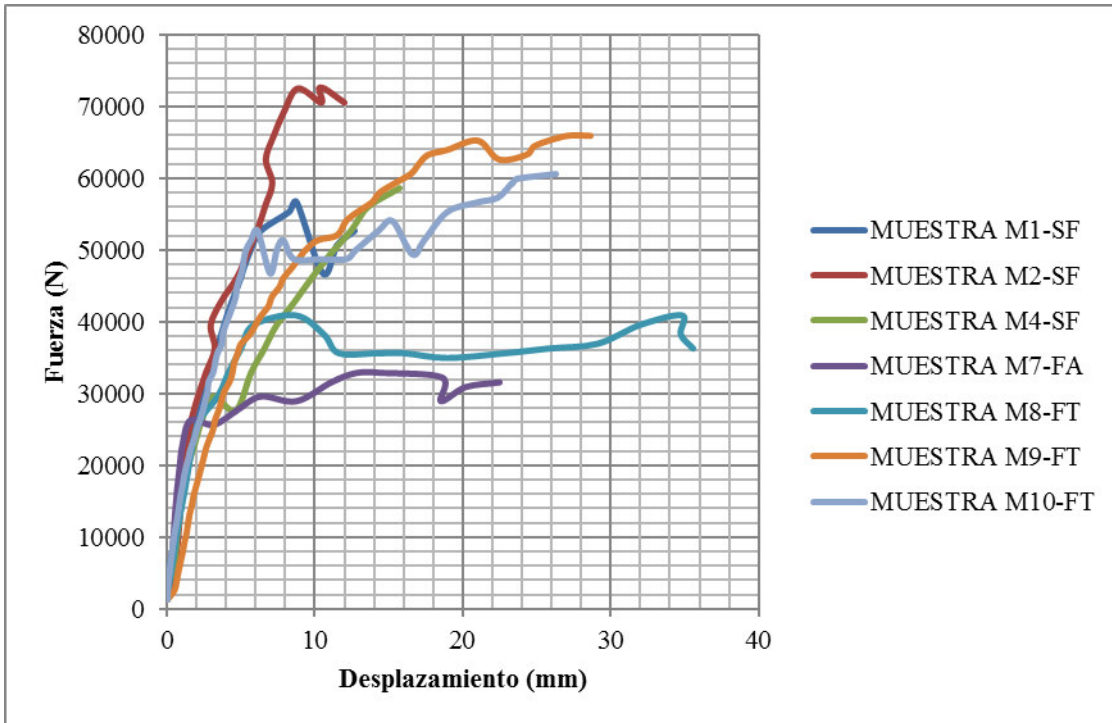
Tabla 5-4 Resumen de ensayos monotónicos

MURO	DERIVA	CARGA (N)	CARGA (kg)	CARGA MÁXIMA (kg)	DESCRIPCIÓN
C1-SF	0.50%	46130	4702	6449	Muro de concreto sin fachada
	0.85%	51402	5240		
C2-SF	0.54%	58651	5979	7053	Muro de concreto sin fachada
	0.84%	56674	5777		
	0,88%	59310	6046		
C3-SF	0.54%	69195	7054	7524	Muro de concreto sin fachada
	0.88%	59310	6046		
C7-FT	0.52%	62605	6382	6785	Muro de concreto con fachada con tornillo
	1.06%	36245	3695		

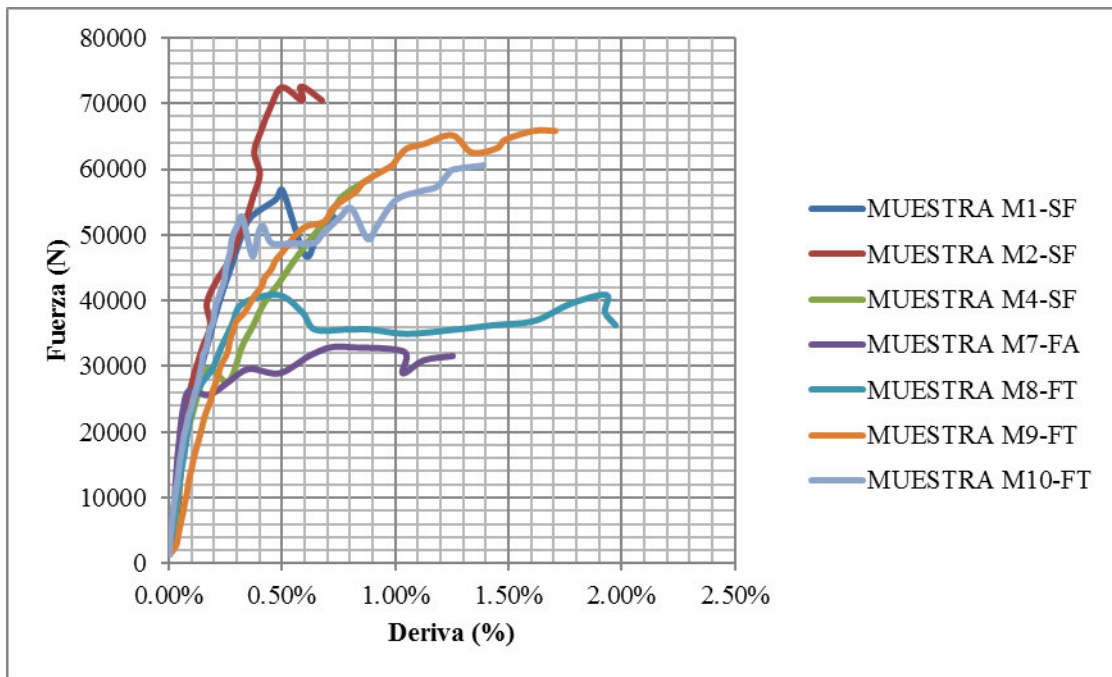
MURO	DERIVA	CARGA (N)	CARGA (kg)	CARGA MÁXIMA (kg)	DESCRIPCIÓN
	1.40%	37563	3829		
C8-FT	0.55%	41517	4232	6315	Muro de concreto con fachada con tornillo
	1.05%	31632	3224		
	1.62%	25701	2620		
M1-SF	0.50%	56674	5777	5777	Muro de mampostería sin fachada
	0.73%	52720	5374		
M2-SF	0.50%	72490	7389	7389	Muro de mampostería sin fachada
	0.68%	70513	7188		
M4-SF	0.50%	42835	4366	5979	Muro de mampostería sin fachada
	0.90%	58651	5979		
M7-FA	0.50%	28996	2956	3695	Muro de mampostería con fachada adherida
	1.00%	32291	3292		
	1.30%	31632	3224		
M8-FT	0.50%	40858	4165	4299	Muro de mampostería con fachada con tornillo
	1.00%	34927	3560		
	1.60%	36904	3762		
	2.00%	36245	3695		
M9-FT	0.50%	47448	4837	6718	Muro de mampostería con fachada con tornillo
	1.00%	61946	6315		
	1.50%	64582	6583		
	1.71%	65900	6718		
M10-FT	0.55%	48766	4971	6315	Muro de mampostería con fachada con tornillo
	1.00%	55356	5643		
	1.40%	60628	6180		

5.6.1. Resumen muros de mampostería

A continuación en las gráficas 4.4 y 4.5, se presentan las curvas resumen de los muros de mampostería. Las ordenadas corresponden a la carga resistida de cada espécimen durante el ensayo monotónico y las abscisas, el desplazamiento y deriva correspondiente a cada fuerza.



Gráfica 5-4 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muros de mampostería



Gráfica 5-5 Carga lateral en el plano vs Deriva muros de mampostería

En la Gráfica 5-5 se evidencia que los muros con fachada alcanzan derivas mayores al compararlos con los muros con fachada; esto debido principalmente a que la falla típica de los muros de mampostería es escalonada y al tener fachada esta “cose” el muro permitiéndole alcanzar mayores desplazamientos sin que se presente la total inestabilidad en el mismo.

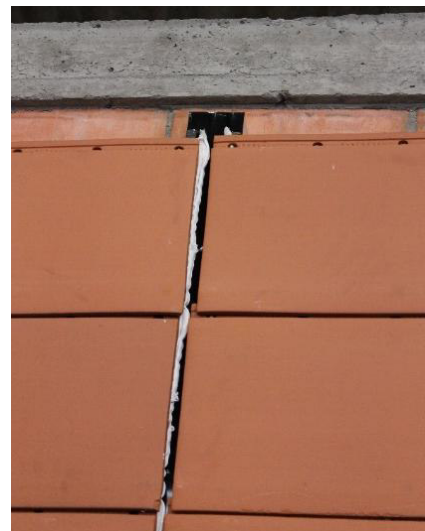
La

Fotografía 5-7 presenta las fallas generales observadas en los ensayos monotónicos de los muros de mampostería, las fallas específicas de cada muro se encuentran en el Anexo G. En el detalle (a) se muestra la falla típica escalonada de estos muros. En el (b), la flexibilidad del adhesivo de Sika, ya que se presentan desplazamientos relativos de los elementos de fachada en arcilla sin que estos fallen.

Asimismo en el detalle (c), se evidencia la falla de la conexión de las piezas de arcilla al perfil, debido a la rigidez del anclaje. Adicionalmente, en algunos muros se encontró que debido a los escalamientos presentados en el muro y a la rigidez de los ángulos como el mostrado en el detalle (d), los perfiles de soporte se ven sometidos a esfuerzos de torsión, lo que hace que estos se desgarren y se desplacen los perfiles.



(a) Falla escalonada en muros de mampostería



(b) Desplazamientos relativos de la fachada adherida



(c) Falla en la conexión de la pieza de fachada al perfil.



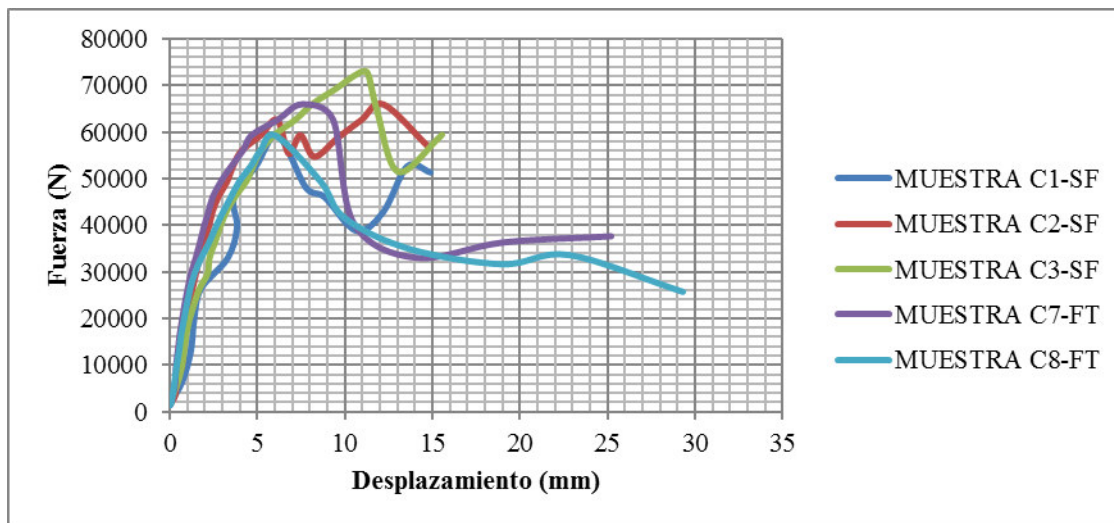
(d) Desplazamiento del perfil de soporte

Fotografía 5-7 Fallas encontradas en los ensayos monotónicos de los muros de mampostería

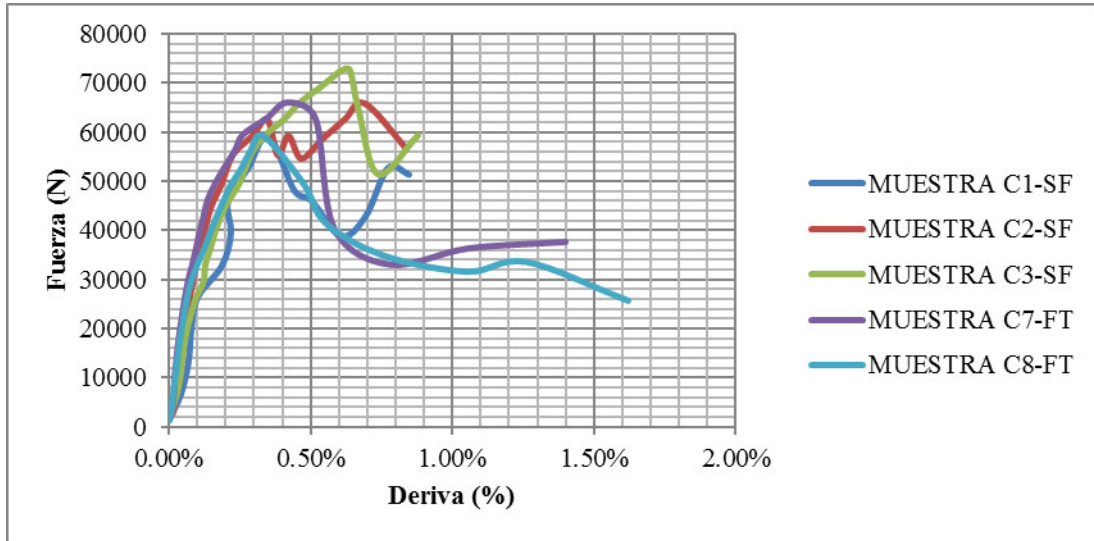
Fuente: El autor

5.6.2. Resumen muros de concreto

A continuación se presentan las gráficas resumen de los muros de concreto.



Gráfica 5-6 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muros de concreto



Gráfica 5-7 Carga lateral en el plano vs Deriva muros de concreto

En el caso de los muros de concreto se alcanzan desplazamientos mayores al 1% cuando el muro tiene el sistema de fachada, sin embargo, la falla general se presenta en la conexión viga de soporte - muro, induciendo fisuras en la base del muro como se muestra en la Fotografía 5-8. Para los muros con fachada, este comportamiento no permite que se desarrolle la capacidad total del muro y por lo tanto no se generan esfuerzos en la fachada.



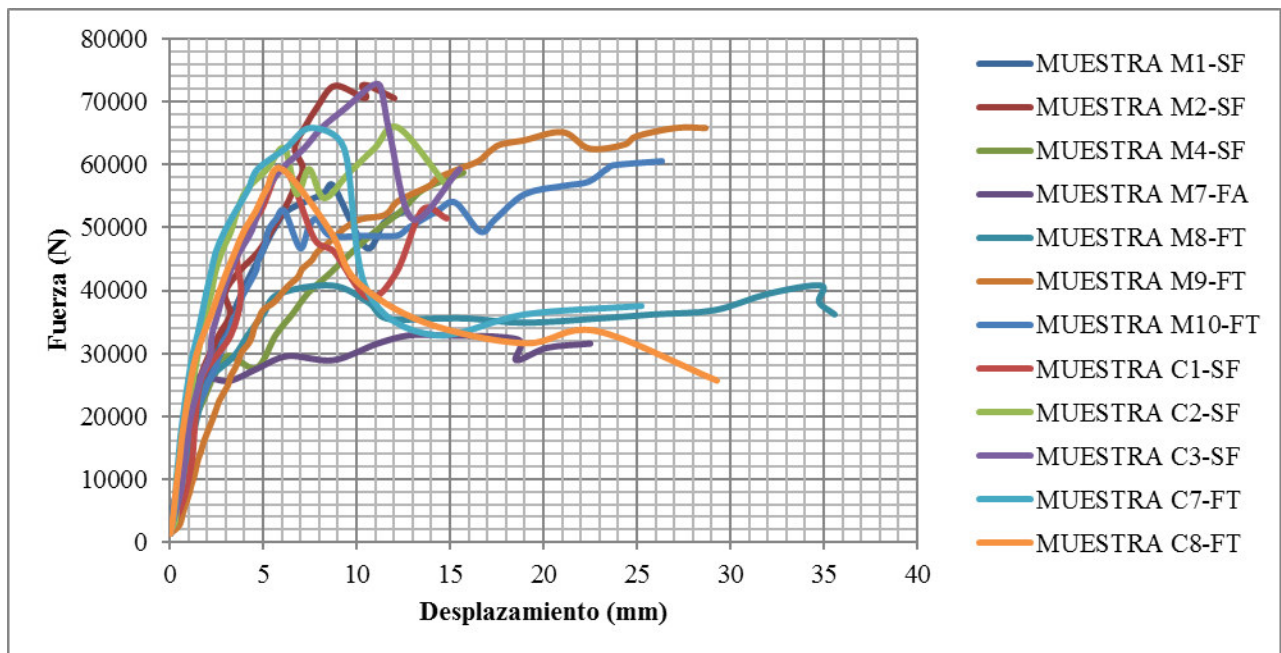
Fotografía 5-8 Detalles típico de la falla de los muros de concreto

Fuente: El autor

5.6.3. Resumen muros de concreto y de mampostería

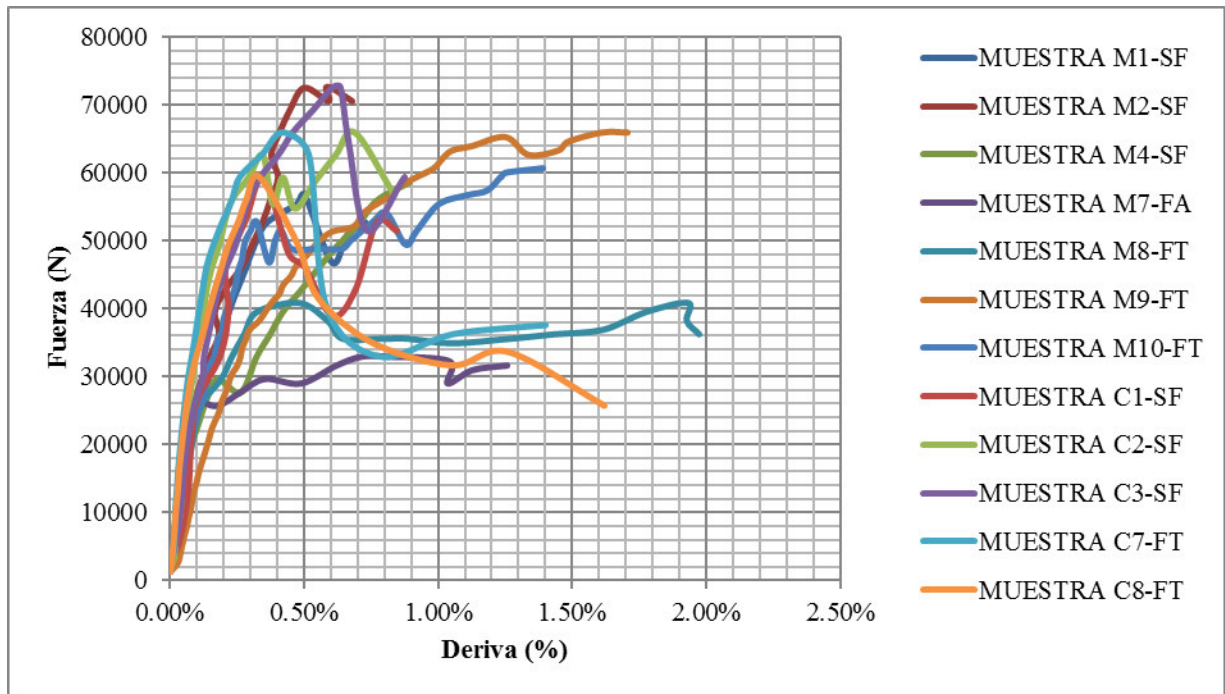
A continuación se presentan las gráficas resumen de todos los muros (concreto y mampostería) sometidos a cargas estáticas. En la Gráfica 5-9 se observa que se alcanzan derivas hasta del 2% en los ensayos monotónicos, siendo el muro de mampostería M10-FT el que alcanza este valor de deriva. Lo anterior debido a que la fachada de alguna manera le permite al muro alcanzar mayores deformaciones antes de que se inestabilice el mismo por las razones expuestas con anterioridad. En los muros de concreto esto no sucede debido a que la falla de la conexión viga-muro, no le permite al muro desarrollar toda su capacidad.

Por otro lado, se observa un comportamiento uniforme de los muros de concreto y de mampostería en el rango “elástico” y luego cada uno comienza a degradarse de acuerdo a sus características (material y tipo de fachada).



Gráfica 5-8 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento en todos los muros

Cabe resaltar que las derivas obtenidas de los ensayos estáticos de los muros de mampostería fueron tomadas como base para el protocolo de los ensayos pseudo-dinámicos, cuyos resultados se muestran en el siguiente apartado.



Gráfica 5-9 Carga lateral en el plano vs Deriva en todos los muros

5.7. Ensayos pseudo-dinámicos

En la Tabla 5-5, se resumen los resultados obtenidos durante los ensayos pseudo-dinámicos. Se reporta para cada muro, las cargas asociadas a algunos valores representativos de derivas y la carga máxima soportada por cada muro. Adicionalmente, en el Anexo H se presentan para cada uno de los muros ensayados, las curvas de histéresis y de la envolvente, así como una descripción del tipo de falla.

Tabla 5-5 Resumen de ensayos pseudo-dinámicos

MURO	DERIVA	CARGA (N)	CARGA (kg)	CARGA MÁXIMA (kg)	DERIVA PARA LA CARGA MÁXIMA	DESCRIPCIÓN
C4-D-SF	0,50%	65432	6670	8991	0,90%	Muro de concreto sin fachada
	1,00%	73497	7492			
	1,30%	63470	6470			
C5-D-SF	0,50%	54488	5554	8609	1,00%	Muro de concreto sin

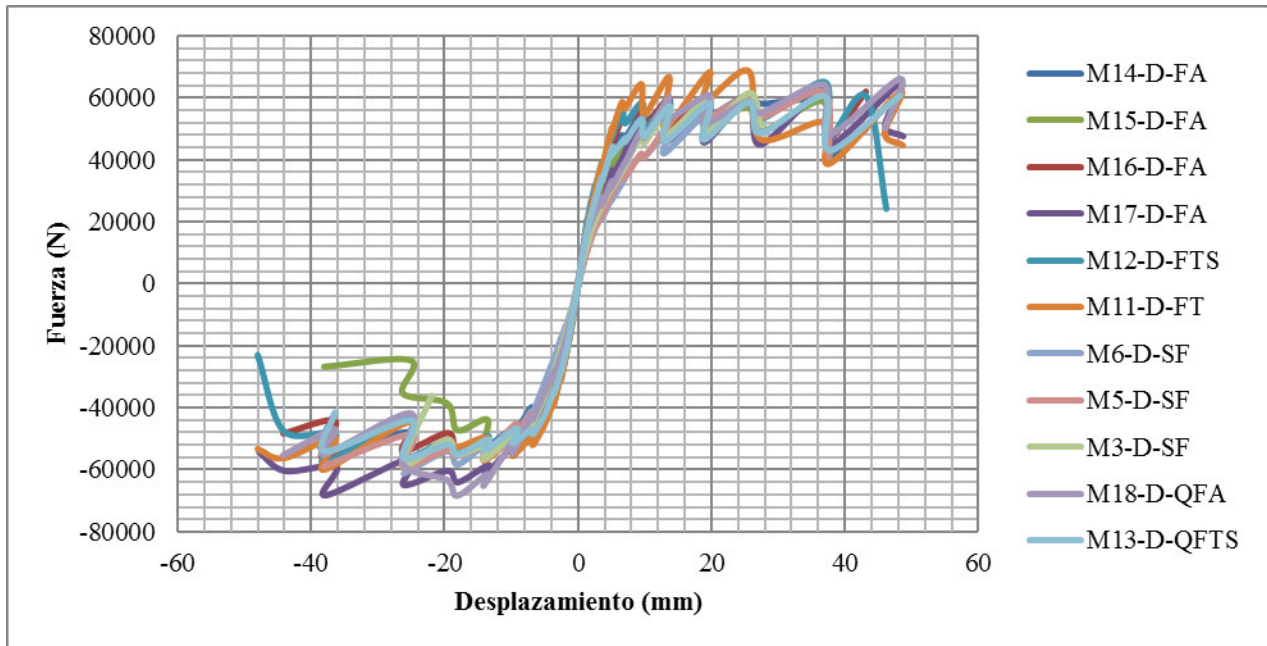
MURO	DERIVA	CARGA (N)	CARGA (kg)	CARGA MÁXIMA (kg)	DERIVA PARA LA CARGA MÁXIMA	DESCRIPCIÓN
	1,00%	84454	8609			fachada
	1,30%	75687	7715			
C6-D-SF	0,50%	69067	7040	8707	0,80%	Muro de concreto sin fachada
	1,00%	67437	6874			
	1,30%	67938	6925			
C11-D-FA	0,50%	76274	7775	8907	0,60%	Muro de concreto con fachada adherida
	1,00%	65976	6725			
	1,30%	35133	3581			
M3-D-SF	0,50%	48733	4968	6254	1,30%	Muro de mampostería sin fachada
	1,00%	60214	6138			
	1,40%	50962	5195			
M5-D-SF	0,50%	49111	5006	6322	1,90%	Muro de mampostería sin fachada
	1,00%	58686	5982			
	1,40%	59001	6014			
	2,00%	58561	5969			
M6-D-SF	0,50%	50320	5129	6254	1,40%	Muro de mampostería sin fachada
	1,00%	58403	5953			
	1,40%	61350	6254			
M11-D-FT	0,50%	64508	6576	7016	1,30%	Muro de mampostería con fachada con tornillo
	1,00%	68325	6965			
	1,40%	59176	6032			
	2,00%	59824	6098			
	2,50%	61967	6317			
M12-D-FTS	0,50%	58344	5947	6624	1,90%	Muro de mampostería con fachada con tornillo y punto de sika
	1,00%	59075	6022			
	1,40%	56455	5755			
	2,00%	57981	5910			
	2,50%	23118	2357			
M13-D-QFA	0,50%	53062	5409	6190	2,50%	Muro de mampostería con fachada adherida y anclaje químico
	1,00%	58148	5927			
	1,40%	56162	5725			
	2,00%	53939	5498			
M14-D-FA	0,50%	55056	5612	6256	1,70%	Muro de mampostería con fachada adherida
	1,00%	59957	6112			
	1,40%	58160	5929			

MURO	DERIVA	CARGA (N)	CARGA (kg)	CARGA MÁXIMA (kg)	DERIVA PARA LA CARGA MÁXIMA	DESCRIPCIÓN
	2,00%	53680	5472			
M15-D-FA	0,50%	51666	5267	6082	0,70%	Muro de mampostería con fachada adherida
	1,00%	58070	5920			
	1,40%	49093	5004			
	2,00%	40599	4139			
M16-D-FA	0,50%	55978	5706	6515	1,90%	Muro de mampostería con fachada adherida
	1,00%	59733	6089			
	1,40%	55014	5608			
	2,00%	56152	5724			
M17-D-FA	0,50%	55232	5630	6941	2,00%	Muro de mampostería con fachada adherida
	1,00%	63917	6516			
	1,50%	64783	6604			
	2,00%	68086	6941			
	2,50%	64540	6579			
M18-D-QFA	0,50%	54400	5545	6962	1,00%	Muro de mampostería con fachada adherida y anclaje químico
	1,00%	68300	6962			
	1,40%	58184	5931			
	2,00%	46799	4771			
	2,50%	66079	6736			

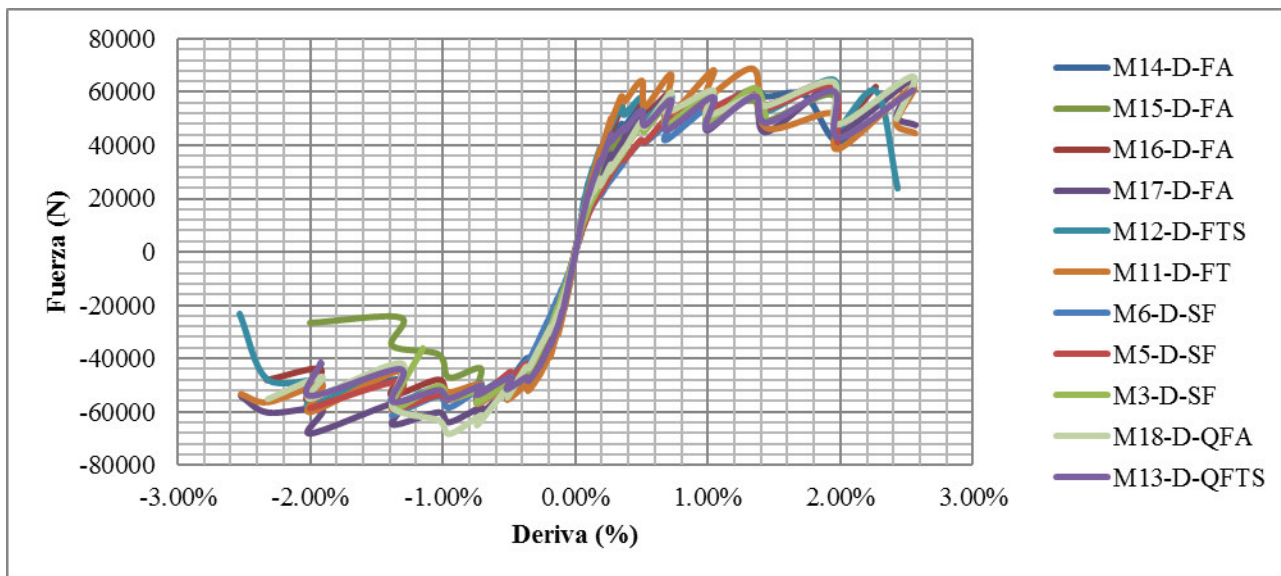
A continuación se presentan las envolventes de los muros de mampostería, de los muros de concreto y las envolventes de los muros de concreto y de mampostería juntas. Las ordenadas corresponden a la carga a la que fueron sometidos los muros y las abscisas, al desplazamiento y deriva correspondientes.

5.7.1. Resumen muros de mampostería

El comportamiento de los muros de mampostería bajo cargas pseudo-dinámicas es lineal elástico hasta una deriva de 0.4% aproximadamente. A partir de ese punto los muros entran en rango inelástico y los ciclos de carga y descarga disminuyen la rigidez del muro y esto junto a las fisuras disminuyen la capacidad de los muros. Las derivas alcanzadas en general hasta la terminación del ensayo son del orden del 2,0%.



Gráfica 5-10 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento en los muros de mampostería



Gráfica 5-11 Carga lateral en el plano vs Deriva en los muros de mampostería

La Fotografía 5-9 muestra las fallas generales presentadas en los muros de mampostería sometidos a los ensayos pseudo-dinámicos, las fallas específicas de cada muro se encuentran en el Anexo H. En el detalle (a) se muestra la falla típica escalonada de estos muros. En el (b), el aplastamiento del muro en las zonas de tensión y compresión.

Asimismo en el detalle (c), se evidencia la falla de la conexión de las piezas de arcilla al perfil, debido a la rigidez del anclaje. El detalle (d) a su vez muestra desplazamientos relativos de las piezas de fachada ventilada cuando esta es adherida con el poliuretano de sika. De igual manera se encuentran perfiles que al retirar las piezas de fachada ventilada adheridas, evidencian problemas de aplicación del adhesivo al no haber continuidad en el cordón de poliuretano por posible deficiencia en la preparación de la superficie.

Adicionalmente, en algunos muros se encontró que debido a los escalamientos presentados en el muro y a la rigidez de los ángulos como el mostrado en el detalle (g), los perfiles de soporte se ven sometidos a esfuerzos de torsión, lo que hace que este se desgarren y se desplacen los perfiles. Finalmente, en el caso de los perfiles que se fijaron a los muros con anclaje químico, se encontró como caso particular una falla de uno de los anclajes, debido posiblemente a problemas en la aplicación del epóxico de hilti. Esto se muestra en el detalle (f).



(a) Falla escalonada en muros de mampostería



(b) Aplastamiento en las zonas de tensión y compresión



(c) Falla en la conexión de la pieza de fachada al perfil.



(d) Desplazamiento relativo de piezas de fachada



(e) Problemas de aplicación del adhesivo de poliuretano



(f) Falla del anclaje químico



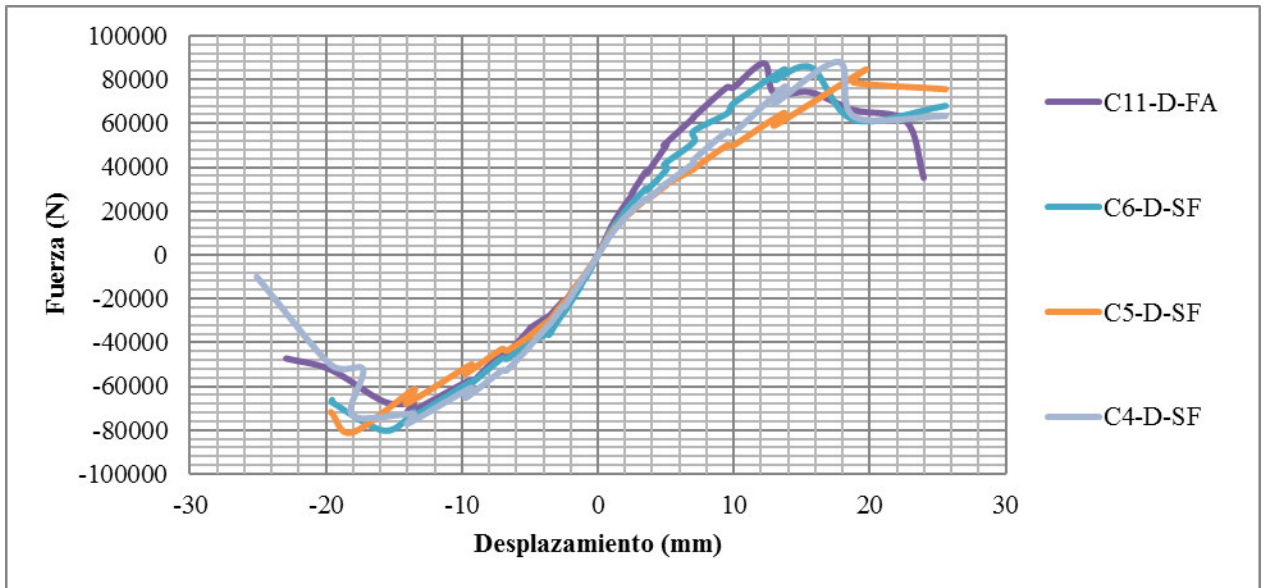
(g) Desplazamiento del perfil de soporte

Fotografía 5-9 Fallas encontradas en los ensayos pseudo-dinámicos de los muros de mampostería

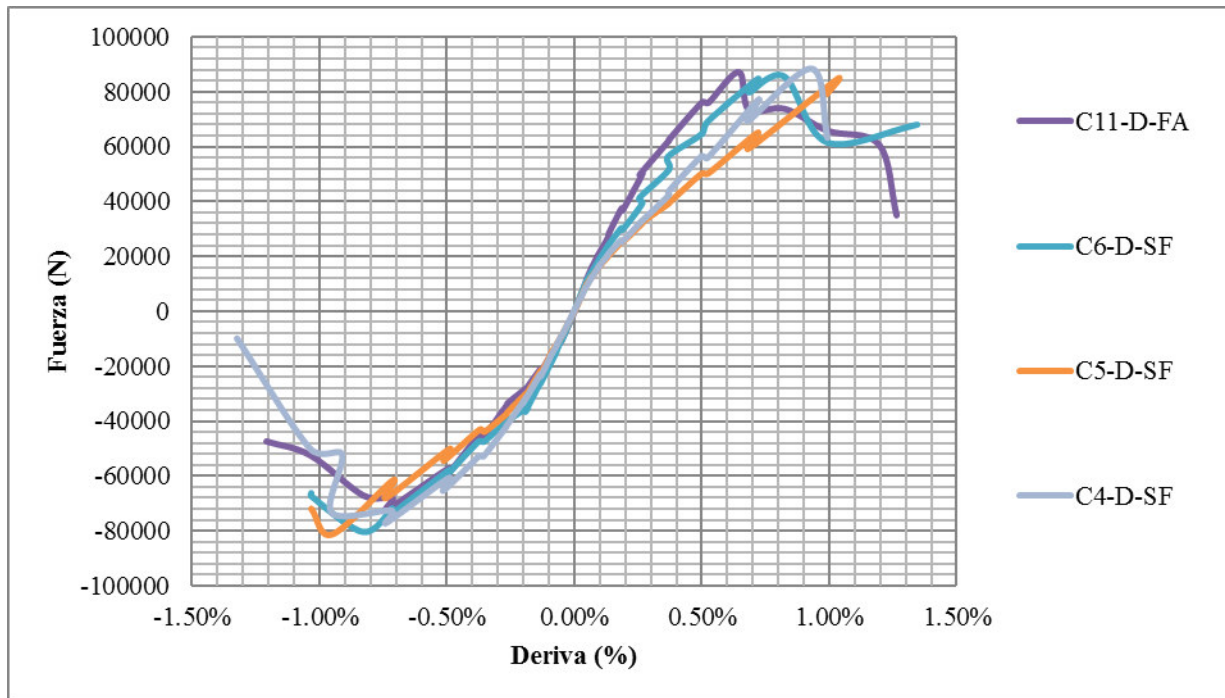
Fuente: El autor

5.7.2. Resumen muros de concreto

A continuación se presenta el resumen de los muros de concreto ensayados bajo cargas laterales pseudo-dinámicas. La Gráfica 5-13 muestra un comportamiento lineal-elástico en todos los muros de concreto hasta una deriva de aproximadamente 0.5%. A partir de este punto el comportamiento es inelástico y los ciclos de carga y descarga disminuyen la rigidez de los muros hasta que estos pierden su capacidad.



Gráfica 5-12 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento en los muros de concreto



Gráfica 5-13 Carga lateral en el plano vs Deriva en los muros de concreto

La falla general observada en los muros de concreto sometidos a ensayos monotónicos se presente en la conexión viga - muro, la cual induce fisuras en la base del muro como se muestra en la Fotografía 5-10. Para los muros con fachada, este comportamiento no permite que se desarrolle la capacidad total del muro y por lo tanto no se generan esfuerzos en la fachada.

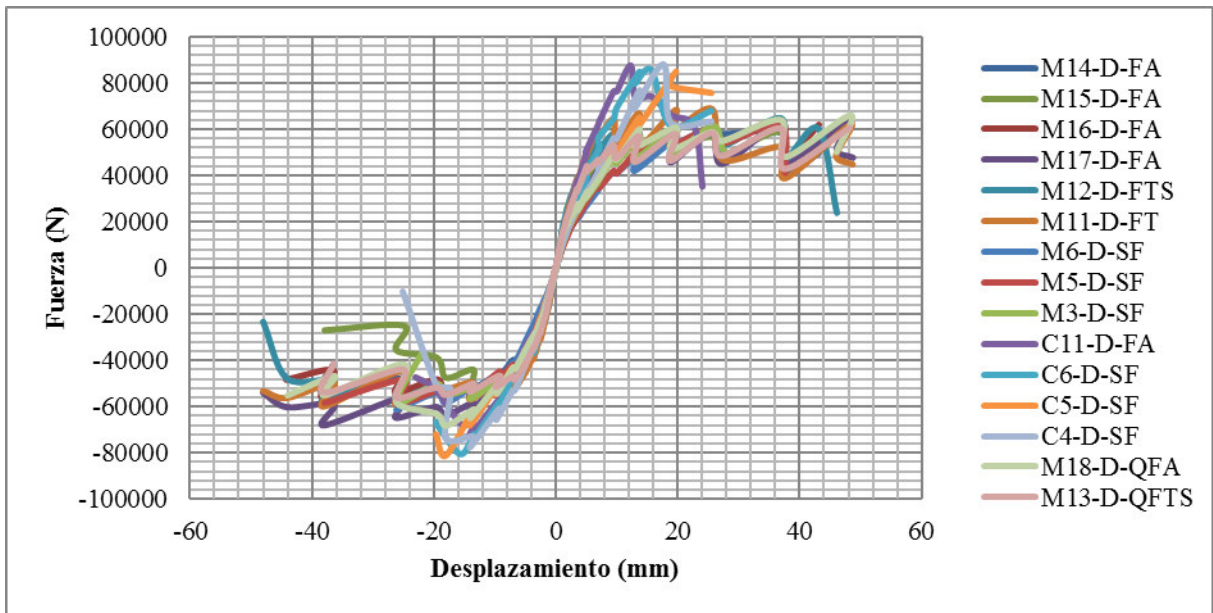


Fotografía 5-10 Detalles típico de la falla de los muros de concreto

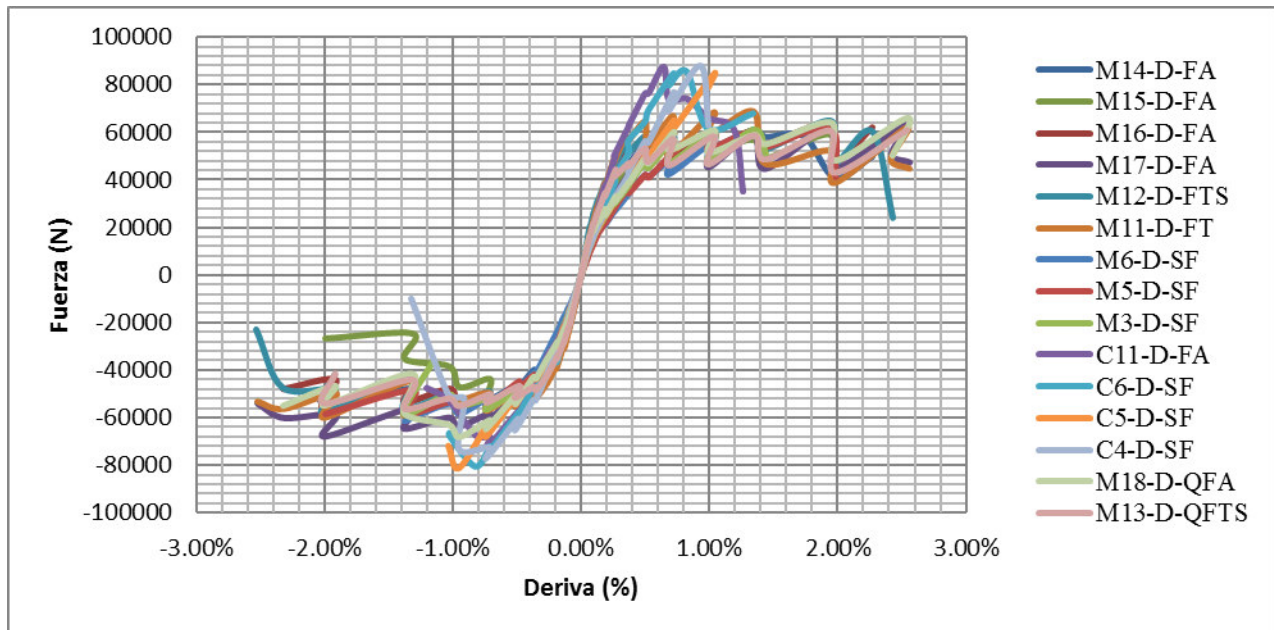
Fuente: El autor

5.7.3. Resumen muros de concreto y de mampostería

En general se observa que los muros de mampostería alcanzan derivas mayores que los muros de concreto, esto teniendo en cuenta el tipo de falla de los muros de concreto, ya que al fallar el anclaje entre la viga de soporte y el muro no se puede evaluar la capacidad del muro como tal, debiendo suspender el ensayo. Sin embargo, todos los muros presentan un comportamiento lineal elástico similar hasta una deriva del 0.4%, a partir de ese momento cada muro, dependiendo sus características (tipo de material, y tipo de fachada), presentan un comportamiento inelástico con tendencias similares, pero algunos se deforman más que otros.



Gráfica 5-14 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento en todos los muros



Gráfica 5-15 Carga lateral en el plano vs Deriva en todos los muros

Por otro lado, es importante resaltar que al inicio del proyecto se planeó ensayar más muros de concreto de los que se realizaron, pero al evidenciar que el tipo de falla fue siempre la misma, que se superaban derivas del 1% y que no se podía analizar el comportamiento de la fachada ventilada, se decidió interrumpir los ensayos pseudo-dinámicos de los muros de concreto.

5.8. Ensayos de succión

Para realizar los ensayos de succión se seleccionaron dos hileras de fachada vertical con el fin de producir sollicitaciones simultáneas en el perfil intermedio y en los correspondientes elementos del sistema de fachada. Se contó con dos bolsas, las cuales se iban llenando simultáneamente de aire mediante compresores y se iba registrando la presión en los manómetros instalados en cada una de ellas. La Tabla 5-6 muestra los esfuerzos máximos para los cuales falló cualquiera de los componentes o la totalidad de cada tramo de fachada ensayada.

Tabla 5-6 Resumen de ensayos de succión

MURO	ESFUERZO MÁXIMO (psi)	ESFUERZO MÁXIMO (kg/cm²)
C9-S-FA	2,5	0,175
C10-S-FA	1	0,07
C12-S-FTS	1	0,07
C13-S-FTS	1	0,07
C14-S-FA	1	0,07
C15-S-FTS	1	0,07
M20-S-FA	1,8	0,126
M21-S-FA	1,8	0,126

A continuación se presenta una secuencia de fotos general de las fallas presentadas. En el Anexo I se muestra la falla para cada uno de los muros y una descripción puntual del tipo de falla.

En los ensayos de succión se evidencia que las fachadas adheridas resisten mayores cargas bajo esta sollicitación y lo que es más importante, presentan un tipo de falla más flexible, ya que como se observa en los detalles (a) y (b) de la Fotografía 5-11, el adhesivo de poliuretano se opone a la fuerza de succión, presentándose una falla por la mitad de la pieza de arcilla de fachada y en algunos casos las piezas quedan “colgando” del perfil, demostrando la flexibilidad del poliuretano, coincidente con lo estudiado por Nečasová et.al, (2015). Por el contrario, en el detalle (g) se muestra la falla de la fachada cuando se conecta con tronillos autoperforantes, siendo esta una falla súbita, ya que por la rigidez de la conexión, cuando las piezas se ven sometidas a la carga de succión, las piezas se desprenden de manera casi inmediata. El detalle (h) muestra que la conexión no falla, sino que la pieza es la que se debilita en esta zona conduciendo a la falla de la misma, tal como lo encontrado por D’Orazio, Lenzi y Graziani (2013) en sus investigaciones.

Adicionalmente, durante estos ensayos se encontraron fallas importantes en los perfiles de soporte que condujeron a la falla del sistema. Los detalles (c) y (d) muestran que debido a la rigidez del ángulo de conexión y a la fuerza a la que el sistema se ve sometido, se presenta desgarramiento de uno de los perfiles. Asimismo, es posible ver

en los detalles siguientes que debido a la succión, el perfil sufrió estrangulamiento ocasionando la falla de la fachada.



(a) Falla de la fachada cuando es adherida con poliuretano.



(b) Flexibilidad del adhesivo



(c) Falla del perfil de soporte



(d) Detalle del desgarramiento del perfil



(e) Pandeo del perfil



(f) Estrangulamiento del perfil de soporte



(g) Falla de la fachada cuando se conecta con tornillos auto perforantes



(h) Detalle de la conexión después de la falla de las piezas

Fotografía 5-11 Fallas encontradas en los ensayos de succión
Fuente: El autor

5.9. Análisis de viento según la NSR-10, procedimiento simplificado.

Para el procedimiento simplificado de viento se presentan a continuación las consideraciones utilizadas:

- Ángulo de inclinación de la cuberita de 0°
- Importancia de la edificación Grupo I
- Exposición tipo B

Adicionalmente, se determinan las cargas de viento para la región número 2, en la que está localizada Bogotá, correspondiente a una velocidad de viento de 100 km/h según la figura B.6.4-2 de la NSR-10. De igual manera se presenta el análisis para la región 5 donde se encuentran las principales ciudades costeras, la velocidad correspondiente es 165km/h. Las presiones de viento se calculan utilizando la siguiente ecuación:

$$P_s = \lambda * K_{zt} * I * P_{s10}$$

Donde:

$\lambda=1,0$ Factor de ajuste por altura y exposición

$K_{zt} = 1,0$ Factor topográfico

$I=1.0$ Factor de importancia

P_{s10} Presión básica del viento

A continuación en la Tabla 5-7 y la Tabla 5-8 se presentan las presiones de viento horizontales para las condiciones anteriormente descritas, con el fin de compararlas con las cargas de succión obtenidas en el laboratorio.

asegurarse del comportamiento de la fachada, especialmente por la fragilidad de las piezas utilizadas.

5.10. Ensayos de extracción de anclajes en muros

Después de construido cada muro, se desarrolló el plan de extracción de anclajes, en cada uno de ellos, se instalaron 4 anclajes, La Fotografía 5-12 muestra la numeración de los anclajes y su secuencia obedece el orden de instalación.



Fotografía 5-12 Numeración de anclajes en muros de ensayo
Fuente: El autor

La Tabla 5-9 muestra la carga máxima presentada durante la extracción de los anclajes químicos en los muros con bloque número 5, BL5, y los bloques doble pared, LEPVD.

Tabla 5-9 Resumen de ensayos de extracción de anclajes químicos en muros

MURO	ANCLAJE	ESFUERZO MÁXIMO (psi)	CARGA MÁXIMA (kg)
M1 BL5	1	200	211
	2	250	280
	3	130	115
	4	180	184
M2 BL5	1	180	184

MURO	ANCLAJE	ESFUERZO MÁXIMO (psi)	CARGA MÁXIMA (kg)
	2	150	143
	3	280	321
	4	130	115
M3 BL5	1	100	74
	2	130	115
	3	100	74
	4	130	115
M1 LEPVD	1	150	143
	2	130	115
	3	100	74
	4	100	74
M2 LEPVD	1	80	47
	2	130	115
	3	300	349
	4	230	253
M3 LEPVD	1	180	184
	2	130	115
	3	150	143
	4	150	143

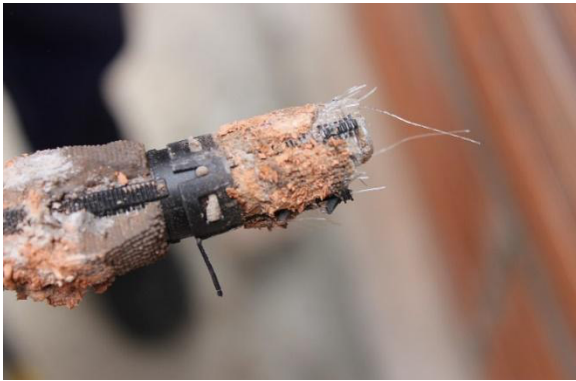
Al evaluar las cargas de extracción de anclajes en unidades y compararlas con las cargas de extracción de anclajes en muros, se observa gran variación, quizás debido principalmente a los problemas de instalación en muros que se presentan en los detalles de la Fotografía 5-13, ya que como se observa en el detalle (a) por ejemplo, la barra roscada sobrepasa la profundidad del tamiz. Asimismo, es evidente que no se presenta uniformidad en la cantidad de epóxico aplicado en los tamices, obteniéndose tamaño de bulbos diferentes en un mismo anclaje y entre los diferentes anclajes. Lo anterior ocurre ya que durante la aplicación del epóxico en el muro, no se pudo verificar la cantidad exacta que se estaba aplicando, ya que en este caso no se utilizó una pistola graduable.



(a) Barra roscada se ancla más allá del tamiz



(b) Diferencia en el tamaño de los bulbos.



(c) Se rompe el tamiz



(d) Formación del cono de extracción



(e) Problema de instalación del anclaje



(f) Discontinuidad en el bulbo de anclaje.

Fotografía 5-13 Fallas encontradas en los ensayos de extracción de anclajes químicos en muros

Fuente: El autor

El detalle (e) de igual manera muestra un problema de instalación del anclaje químico, ya que, en uno de los anclajes, la barra roscada salió al aplicar la carga de extracción, pero el tamiz junto con el epóxico quedaron en el interior del muro, lo cual quiere decir que no hubo una adecuada adherencia entre el anclaje químico y la barra roscada.

Todos estos inconvenientes son la causa primordial de la dispersión tan alta en los resultados, caso contrario a lo ocurrido en las piezas individuales, ya que para estas fue posible controlar la instalación de los anclajes.

6.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

A partir de los resultados de la investigación realizada se presentan las siguientes conclusiones:

- Los muros de mampostería con fachada ventilada presentan mayores desplazamientos antes de que se presente inestabilidad en los muros (comparado con los muros sin fachada), esto debido a que la falla típica de los muros de mampostería es escalonada por el mortero de pega y al tener fachada esta “cose” el muro. Este modo de falla se presenta en los muros sometidos a cargas estáticas y pseudo-dinámicas.
- Las piezas de fachada ventilada instaladas con tornillos autoperforantes en los perfiles de soporte, presentan falla en la conexión de las piezas de fachada a los perfiles cuando los muros son sometidos a cargas estáticas y pseudo-dinámicas, por la rigidez de la conexión. Asimismo, a largo plazo puede generarse un par de corrosión galvánica por el material del tornillo y del perfil, generándose en corrosión y caída de las piezas de arcilla.
- Las fachadas adheridas presentan desplazamientos diferenciales durante los ensayos monotónicos y cíclicos, sin que se presente falla de las piezas, lo que demuestra la flexibilidad del adhesivo de poliuretano.
- Se encontró discontinuidad en la aplicación del cordón de adhesivo de poliuretano utilizado para adherir las piezas de fachada ventilada, posiblemente ocasionada

por problemas de preparación de superficie al instalar la fachada y por la selección de la cantidad de adhesivo utilizado, según el peso de las piezas.

- Una de las principales razones de la falla del sistema de fachada ventilada, es el desplazamiento de los perfiles de soporte, debido a que los ángulos de conexión del perfil al muro son una conexión rígida y al fallar los muros de mampostería escalonadamente, se generan esfuerzos de torsión en los perfiles, ocasionando el desgarramiento de los mismos y por ende el desplazamiento respecto a su posición original.
- Los muros de concreto presentan insuficiencia en el anclaje del muro a la viga de soporte, razón por la cual no se desarrolla la capacidad total del muro y no es posible evaluar el comportamiento de la fachada ventilada.
- Las derivas máximas alcanzadas en los muros de mampostería están alrededor del 2%, que corresponden a desplazamiento hasta de 37mm, para los cuales los muros ya presentan daños importantes, pero que conservan aún estable el sistema de fachada ventilada, con excepción de algunos casos puntuales. El valor de deriva aceptable es el 1%, para el cual no se presenta inestabilidad del sistema, ni se observa daños en la fachada.
- Todos los muros ensayados bajo cargas pseudo-dinámicas, presentan en general el mismo comportamiento lineal elástico hasta derivas del 0.4%, valor a partir del cual los ciclos de carga y descarga disminuyen la rigidez del muro hasta que estos pierden su capacidad de resistir carga.
- Los anclajes químicos utilizados para instalar el sistema de fachada ventilada en dos de los muros que fueron sometidos a cargas cíclicas, de manera general, no fallaron ni presentaron desplazamientos, a excepción de un anclaje de todos los instalados en los dos muros, que se desplazó durante el ensayo, debido posiblemente a problemas de instalación del mismo.

- Los modos de falla de las fachadas ventiladas que fueron adheridas y las que se conectaron por medio de tornillos autoperforantes a los perfiles, fueron muy diferentes cuando estas se sometieron a cargas de succión, ya que las piezas de arcilla de las fachadas adheridas se resisten a la presión ejercida, quedando en algunos casos incluso “colgando” de los perfiles, lo que demuestra la flexibilidad y la capacidad de adherencia del adhesivo de poliuretano; mientras que las fachadas con tornillos fallan súbitamente, debido a la rigidez de la conexión y que esta zona de la pieza de arcilla de fachada es más débil porque tiene menor espesor. Esto también se refleja en los valores de carga obtenidos, ya que las fachadas adheridas resisten presiones de aproximadamente el doble que las fachadas con tornillo.
- Las cargas de succión soportadas por las fachadas ventiladas son casi 10 veces mayores a las obtenidas según la NSR-10 para velocidades de viento de 165 km/h en las ciudades costeras del país donde las cargas debidas al viento son más críticas.
- Los anclajes químicos al ser evaluados en piezas individuales presentaron un comportamiento relativamente uniforme, con dispersiones de 5% y 10% en los bloques #5 y bloques LEPVD respectivamente, y de 39% en los bloques # 4, siendo estos últimos los que tuvieron mayor variación. Sin embargo, al evaluar los anclajes químicos en muros a escala real, se encontró gran variación de los resultados de carga de extracción, debido a que las muestras presentaron diferencias en los tamaños de bulbo entre anclajes y tamices de un mismo anclaje, así como varillas que se anclaron más de lo que se debía. Todo esto evidenciando la importancia de una correcta instalación de los anclajes químicos y la necesidad de usar pistolas dosificadoras.

Estos resultados y conclusiones son válidos únicamente para los materiales utilizados en este proyecto, si por algún motivo se trabaja con otros, se deben realizar los ensayos pertinentes para verificar la funcionabilidad del sistema.

6.2 Recomendaciones

Teniendo en cuenta los resultados de la investigación y las conclusiones obtenidas, se presentan a continuación algunas recomendaciones:

- Teniendo en cuenta la flexibilidad encontrada del adhesivo de poliuretano de Sika, se recomienda instalar el sistema de fachada ventilada utilizando este adhesivo, ya que presenta un eficiente comportamiento bajo cargas de succión, no se evidencian fallas al estar sometido a cargas estáticas y pseudo-dinámicas y se diseñó especialmente para este tipo de fachada, verificando que se resista el peso de cada pieza y las diferentes sollicitaciones a las que va a ser expuesto tanto en condiciones de servicio como a largo plazo..
- Por practicidad de construcción y evitar aumentar el peso y la rigidez de la estructura, se recomienda utilizar anclajes químicos en lugar de usar anclajes autoperforantes. Es necesario igualmente garantizar un trabajo eficiente del anclaje instalándolo correctamente. El uso de estos anclajes químicos requiere menor mano de obra, permite rapidez para puesta al servicio e innovación en los sistemas de anclaje.
- Para utilizar el sistema de fachada ventilada adherida, es necesario que la persona o personas que realicen la instalación estén capacitadas en la preparación de superficies y la forma correcta de aplicar el adhesivo, ya que si el cordón no queda bien adherido y de las dimensiones especificadas en el diseño, no se garantiza el correcto funcionamiento del poliuretano y se pueden llegar a presentar fallas de las piezas de fachada.
- En el caso de los anclajes químicos es importante que el personal de instalación esté capacitado y que tenga experiencia en la instalación de este tipo de anclajes, ya que, según lo encontrado en esta investigación, la garantía del correcto funcionamiento de los anclajes radica en la correcta instalación de los mismos.

-
- Tanto en la utilización del adhesivo de poliuretano, como la de los anclajes químicos, es fundamental que se realice un control de calidad estricto, ya que de estos dos factores dependerá el correcto funcionamiento del sistema de fachada ventilada.
 - Debe verificarse la calidad de los perfiles de soporte, ya que se encontró que estos sufren desgarramientos que comprometen el funcionamiento de la fachada.
 - Si se llega a utilizar grouting de relleno se recomienda tener un control del llenado de las celdas, ya que debe evitarse en lo posible, deficiencias en el llenado de las mismas y los anclajes usados no tengan capacidad de desarrollo y se presenten fallas locales por cambios de rigidez en la altura de las celdas rellenas.
 - En el Anexo J se adjunta el proceso de instalación de la fachada dado por SIKI COLOMBIA S.A. y en el Anexo K el proceso de instalación de los anclajes de HILTI COLOMBIA S.A.S.

7.ANEXOS

- A. Anexo: Resultado ensayos de compresión
en unidades de arcilla**

**ENSAYO DE COMPRESIÓN DE
BLOQUE COMPLETO DE PERFORACIÓN VERTICAL LEPV**

Resultado del ensayo a Compresión realizado sobre muestras, enviadas al Laboratorio de Ensayos de Materiales y Estructuras de la ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA, por:

LADRILLERA SANTAFÉ S.A.

Mtra. No.	Fecha ensayo	Dimensiones (cm)			Carga rotura kg.	Sección Bruta			Sección Neta				
		Alto	Largo	Ancho		Area cm ²	Resistencia			Area cm ²	Resistencia		
							kg/cm ²	lb/pulg ²	MPa		kg/cm ²	lb/pulg ²	MPa
1	10-oct-15	23,0	33,0	11,5	72800	380	191,8	2729	18,8	185	393,3	5595	38,5
2	10-oct-15	23,0	33,0	11,5	74200	380	195,5	2781	19,2	185	400,9	5702	39,3
3	10-oct-15	23,1	33,0	11,5	64800	380	170,8	2429	16,7	185	350,1	4980	34,3
4	10-oct-15	23,2	33,0	11,5	63200	380	166,5	2369	16,3	185	341,4	4857	33,5
5	10-oct-15	23,1	32,8	11,5	60600	377	160,7	2285	15,7	183	331,5	4716	32,5
PROMEDIO							177,1	2519	17,4		363,4	5170	35,6
						DISPERSIÓN (%)						8,7	

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4017

**ENSAYO DE COMPRESIÓN DE
MEDIO BLOQUE DE PERFORACIÓN VERTICAL LEPV**

Resultado del ensayo a Compresión realizado sobre muestras, enviadas al Laboratorio de Ensayos de Materiales y Estructuras de la ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA, por:

LADRILLERA SANTAFÉ S.A.

Mtra. No.	Fecha ensayo	Dimensiones (cm)			Carga rotura kg.	Sección Bruta				Sección Neta				
		Alto	Largo	Ancho		Area cm ²	Resistencia			Area cm ²	Resistencia			
							kg/cm ²	lb/pulg ²	MPa		kg/cm ²	lb/pulg ²	MPa	
1	10-oct-15	23,0	16,2	11,5	37200	186	199,7	2840	19,6	88	423,2	6020	41,5	
2	10-oct-15	23,1	16,1	11,5	35200	185	190,1	2704	18,6	87	405,8	5772	39,8	
3	10-oct-15	23,0	16,1	11,5	39000	185	210,6	2996	20,6	87	449,6	6395	44,1	
4	10-oct-15	23,2	16,3	11,4	40800	186	219,6	3123	21,5	87	466,7	6639	45,7	
5	10-oct-15	23,2	16,3	11,4	36800	186	198,0	2817	19,4	87	421,0	5988	41,3	
					PROMEDIO		203,6	2896	20,0		433,2	6163	42,5	
										DISPERSIÓN (%)	5,6			

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4017

**B. Anexo: Resultado ensayos de absorción
en unidades de arcilla**

**ENSAYO DE ABSORCIÓN EN FRÍO DE
BLOQUE PERFORACIÓN VERTICAL 5H 11.5 x 23 x 33 (COMPLETO)**

Resultado del ensayo de Absorción en Frio realizado sobre muestras, enviadas al Laboratorio de de Ensayo de Materiales y Estructuras de la ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA, por:

LADRILLERA SANTAFÉ S.A.

Muestra No.	Fecha ensayo	Peso Seco (gr)	Peso Saturado (gr)	Absorción en frio (%)
1	11-nov-15	8372	9270	10,7
2	11-nov-15	8329	9212	10,6
3	11-nov-15	8341	9228	10,6
4	11-nov-15	8285	9169	10,7
5	11-nov-15	8299	9153	10,3
PROMEDIO				10,6
DISPERSIÓN (%)				1,6

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4017

**ENSAYO DE ABSORCIÓN EN FRÍO DE
BLOQUE PERFORACIÓN VERTICAL (MEDIOS)**

Resultado del ensayo de Absorción en Frio realizado sobre muestras, enviadas al Laboratorio de de Ensayo de Materiales y Estructuras de la ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA, por:

LADRILLERA SANTAFÉ S.A.

Muestra No.	Fecha ensayo	Peso Seco (gr)	Peso Saturado (gr)	Absorción en frio (%)
1	11-nov-15	4134	4582	10,8
2	11-nov-15	4125	4578	11,0
3	11-nov-15	4100	4560	11,2
4	11-nov-15	4140	4593	10,9
5	11-nov-15	4095	4523	10,5
			PROMEDIO	10,9
			DISPERSIÓN (%)	2,6

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4017

**C. Anexo: Resultado ensayos de compresión
en muretes**

ENSAYO DE COMPRESION DE MURETE

Resultado del ensayo a Compresión realizado sobre Muretes, enviados al Laboratorio de Ensayo de Materiales y Estructuras de la ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA, por:

LADRILLERA SANTAFÉ S.A.

Mtra. No	Observaciones	Dimensiones (cm)			Carga rotura Kg.	Sección Neta			
		alto	largo	espesor		Area cm ²	Resistencia*		
							kg/cm ²	Lb/pulg ²	MPa
1-R	Relleno	47,6	33,0	11,2	50550	370	117,6	1673	11,5
2-R	Relleno	47,2	33,0	11,1	69769	366	222,9	3170	21,8
3-R	Relleno	47,1	33,0	10,7	72740	353	243,5	3464	23,9
4-V	Vacio	47,5	32,9	11,5	33800	198	317,3	4513	31,1
5-V	Vacio	47,2	33,2	11,5	53640	191	325,3	4627	31,9
6-V	Vacio	47,1	33,1	11,5	59830	193	358,8	5104	35,2

* Resistencia corregida por relación h/e

Norma Técnica Colombiana NTC 3495

**D. Anexo: Resultado ensayos de compresión
en morteros de pega**

**ENSAYO COMPRESIÓN DE CILINDROS
NORMALES DE MORTERO**

Resultado del ensayo a compresión de cilindros, enviados al laboratorio de Ensayo de Materiales y Estructuras de la ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA, por:

LADRILLERA SANTAFÉ S.A.

Mtra. No.	Fecha Fundido	Fecha Ensayo	Edad (días)	Carga (kg)	Diámetro (cm)	RESISTENCIA			% Diseño	OBSERVACIONES
						kg/cm ²	psi	MPa		
1	06-nov-15	13-nov-15	7	2000	5,3	91	1290	8,9	71%	MORTERO M1-SF
2	06-nov-15	20-nov-15	14	2700	5,2	127	1810	12,5	100%	MORTERO M1-SF
3	06-nov-15	26-nov-15	20	1600	5,1	78	1110	7,7	61%	MORTERO M1-SF
4	06-nov-15	26-nov-15	20	1800	5,0	92	1300	9,0	72%	MORTERO M1-SF
5	09-nov-15	17-nov-15	8	2428	5,2	114	1630	11,2	90%	MORTERO M3-D-SF
6	09-nov-15	18-nov-15	9	1750	5,1	86	1220	8,4	67%	MORTERO M3-D-SF
7	09-nov-15	18-nov-15	9	1950	5,2	93	1320	9,1	73%	MORTERO M3-D-SF
8	09-nov-15	26-nov-15	17	1600	5,1	78	1110	7,7	61%	MORTERO M3-D-SF
9	09-nov-15	26-nov-15	17	1800	5,0	91,7	1300	9,0	72%	MORTERO M3-D-SF

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 3546

**E.Anexo: Resultado ensayos de compresión en
grouting de relleno**

**ENSAYO COMPRESIÓN DE CILINDROS
NORMALES DE GROUTING**

Resultado del ensayo a compresión de cilindros, enviados al laboratorio de Ensayo de Materiales y Estructuras de la ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA, por:

LADRILLERA SANTAFÉ S.A.

Mtra. No.	Fecha Fundido	Fecha Ensayo	Edad (días)	Carga (kg)	Diámetro (cm)	RESISTENCIA			% Diseño	OBSERVACIONES
						kg/cm ²	psi	MPa		
1	09-nov-15	17-nov-15	8	8600	10,0	109	1560	10,7	61%	GROUTING G1 (M1-SF)
2	09-nov-15	07-dic-15	28	12700	10,0	162	2300	15,8	91%	GROUTING G1 (M1-SF)
3	13-nov-15	20-nov-15	7	11000	10,0	140	1990	13,7	78%	GROUTING G4 (M4-SF)
4	13-nov-15	24-nov-15	11	10500	10,0	134	1900	13,1	75%	GROUTING G4 (M4-SF)
5	14-nov-15	20-nov-15	6	11400	10,1	142	2020	13,9	80%	GROUTING G5 (M5-D-SF)
6	14-nov-15	30-nov-15	16	15500	10,0	197	2810	19,3	111%	GROUTING G5 (M5-D-SF)
7	14-nov-15	23-nov-15	9	12700	10,1	159	2250	15,5	89%	GROUTING G6 (M6-D-SF)
8	14-nov-15	01-dic-15	17	12100	10,1	151	2150	14,8	85%	GROUTING G6 (M6-D-SF)
9	25-nov-15	02-dic-15	7	13500	10,0	172	2450	16,8	96%	GROUTING G7 (M7-FA)
10	25-nov-15	02-dic-15	7	12000	10,0	152,8	2170	15,0	86%	GROUTING G7 (M7-FA)

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 673

F. Anexo: Resultado ensayos de compresión en concreto

**ENSAYO COMPRESIÓN DE CILINDROS
NORMALES DE CONCRETO**

Resultado del ensayo a compresión de cilindros, enviados al laboratorio de Ensayo de Materiales y Estructuras de la ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA, por:

LADRIERA SANTAFÉ S.A.

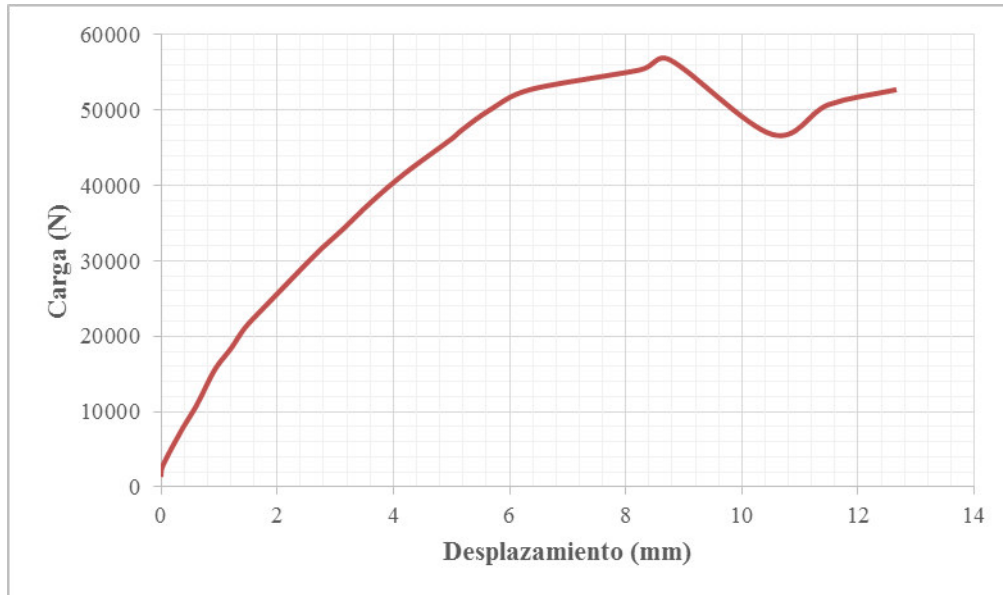
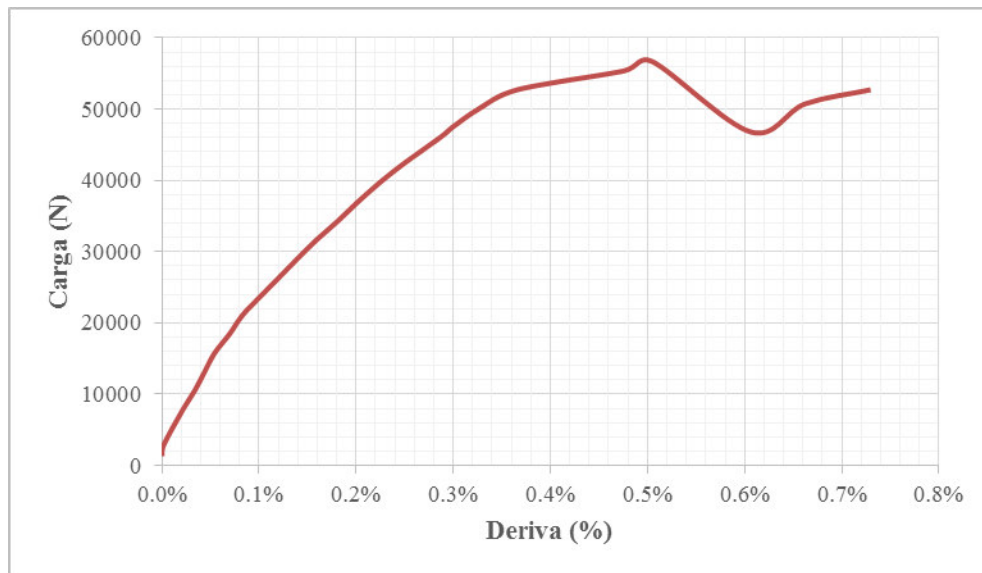
Mtra. No.	Fecha Fundido	Fecha Ensayo	Edad (días)	Carga (kg)	Diámetro (cm)	RESISTENCIA			% Diseño	OBSERVACIONES
						kg/cm ²	psi	MPa		
1	31-oct-15	06-nov-15	6	14500	10,1	181	2570	17,7	84%	VIGA INFERIOR M3-D-SF
2	31-oct-15	13-nov-15	13	17800	10,2	218	3100	21,3	102%	VIGA INFERIOR M3-D-SF
3	31-oct-15	30-nov-15	30	20500	10,0	261	3710	25,6	122%	VIGA INFERIOR M3-D-SF
4	01-nov-15	09-nov-15	8	14800	10,2	181	2580	17,7	85%	VIGA INFERIOR M1-SF
5	01-nov-15	17-nov-15	16	17000	10,0	216	3080	21,2	101%	VIGA INFERIOR M1-SF
6	01-nov-15	30-nov-15	29	18000	10,0	229	3260	22,5	107%	VIGA INFERIOR M1-SF
7	03-nov-15	10-nov-15	7	13600	10,2	166	2370	16,3	78%	VIGA INFERIOR M5-D-SF
8	03-nov-15	17-nov-15	14	14800	10,0	188	2680	18,5	88%	VIGA INFERIOR M5-D-SF
9	03-nov-15	01-dic-15	28	18300	10,1	228	3250	22,4	107%	VIGA INFERIOR M5-D-SF
10	06-nov-15	13-nov-15	7	14000	10,1	175	2490	17,1	82%	VIGA INFERIOR VC1-SF
11	06-nov-15	03-dic-15	27	16000	10,0	204	2900	20,0	95%	VIGA INFERIOR VC1-SF
12	07-nov-15	20-nov-15	13	16300	10,1	203	2890	19,9	95%	VIGA INFERIOR VC2-SF
13	07-nov-15	04-dic-15	27	19600	10,1	245	3480	24,0	114%	VIGA INFERIOR VC2-SF
14	09-nov-15	17-nov-15	8	17800	10,0	227	3220	22,2	79%	VIGA SUPERIOR VS1 M1-SF
15	10-nov-15	17-nov-15	7	16800	10,0	214	3040	21,0	75%	VIGA SUPERIORVS2 M2-SF
16	11-nov-15	18-nov-15	7	18100	10,1	226	3210	22,1	79%	VIGA SUPERIOR VS3 M3-D-SF
17	11-nov-15	26-nov-15	15	17500	10,0	223	3170	21,8	78%	VIGA SUPERIOR VS3 M3-D-SF
18	18-nov-15	01-dic-15	13	15900	10,1	198	2820	19,4	69%	VIGA SUPERIOR VS6 M6-D-SF
19	12-nov-15	19-nov-15	7	14900	10,1	186	2650	18,2	65%	VIGA SUPERIOR VS-C1-SF
20	12-nov-15	09-dic-15	27	18300	10,0	233	3310	22,8	82%	VIGA SUPERIOR VS-C1-SF
21	18-nov-15	09-dic-15	21	10400	10,0	132	1880	13,0	46%	VIGA SUPERIOR VS-C4-D-SF
22	20-nov-15	11-dic-15	21	19100	10,1	238	3390	23,4	83%	VIGA SUPERIOR VS-C5-D-SF
23	10-nov-15	17-nov-15	7	14300	10,0	182	2590	17,8	85%	MURO CONCRETO C1-SF
24	10-nov-15	20-nov-15	10	13500	10,1	169	2400	16,5	79%	TESTIGO C1-SF
25	10-nov-15	24-nov-15	14	14300	10,0	182	2590	17,8	85%	MURO CONCRETO C1-SF
26	10-nov-15	08-dic-15	28	17950	10,0	229	3250	22,4	107%	MURO CONCRETO C1-SF
27	11-nov-15	18-nov-15	7	10900	10,1	136	1940	13,3	63%	MURO CONCRETO C2-SF
28	11-nov-15	23-nov-15	12	13500	10,2	165	2350	16,2	77%	MURO CONCRETO C2-SF
29	11-nov-15	25-nov-15	14	13500	10,0	172	2450	16,8	80%	MURO CONCRETO C2-SF
30	11-nov-15	09-dic-15	28	18000	10,1	225	3200	22,0	105%	MURO CONCRETO C2-SF
31	12-nov-15	19-nov-15	7	14300	10,1	178	2540	17,5	83%	MURO CONCRETO C3-SF
32	12-nov-15	24-nov-15	12	14700	10,1	183	2610	18,0	86%	MURO CONCRETO C3-SF
33	12-nov-15	26-nov-15	14	15700	10,0	200	2840	19,6	93%	MURO CONCRETO C3-SF
34	12-nov-15	10-dic-15	28	18900	10,0	241	3420	23,6	112%	MURO CONCRETO C3-SF
35	17-nov-15	24-nov-15	7	13500	10,0	172	2450	16,8	80%	MURO CONCRETO C4-D-SF
36	17-nov-15	09-dic-15	22	17300	10,0	220	3130	21,6	103%	MURO CONCRETO C4-D-SF
37	18-nov-15	25-nov-15	7	14300	10,1	178	2540	17,5	83%	MURO CONCRETO C5-D-SF
38	19-nov-15	26-nov-15	7	13100	10,0	167	2370	16,3	78%	MURO CONCRETO C6-D-SF
39	25-nov-15	02-dic-15	7	11600	10,0	148	2100	14,5	69%	MURO CONCRETO C7-FT
40	27-nov-15	03-dic-15	6	11800	10,0	150,2	2140	14,7	70%	MURO CONCRETO C7-FT

G. Anexo: Resultado ensayos ante carga lateral en el plano-monotónicos

MUROS DE MAMPOSTERIA**MURO M1-SF****Fotografía 7-1** Montaje e instrumentación del muro M1-SF**DESCRIPCIÓN**

M1-SF	Muro no estructural de mampostería
Tipo de fachada	Sin fachada

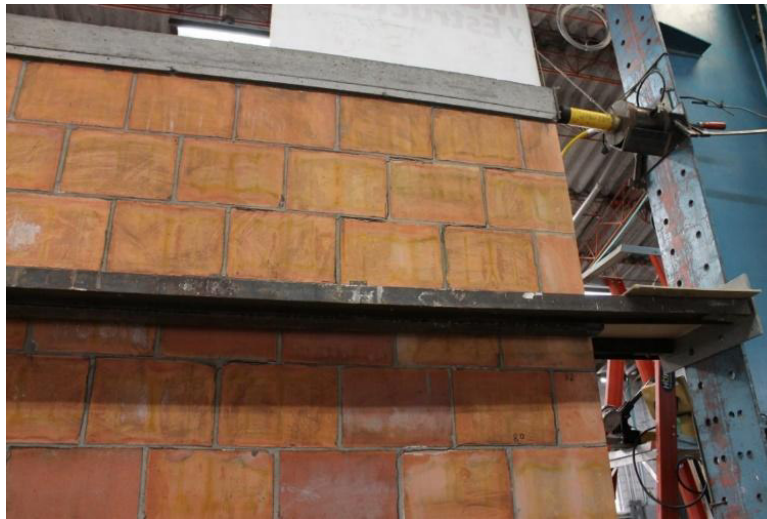
CARGA VS DESPLAZAMIENTO

Gráfica 7-1 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro M1-SF**CARGA VS DERIVA****Gráfica 7-2** Carga lateral en el plano vs Deriva muro M1-SF

De acuerdo con lo observado en la Gráfica 7-1 la carga máxima resistida por el muro es de 56674 N, para la cual se tienen una deriva del 0.5%, la cual equivale a un desplazamiento de 8.76 mm. La deriva máxima alcanzada es del 0.73%. Con este y los resultados de los demás ensayos monotónicos se obtuvo el protocolo de carga para los ensayos pseudodinámicos.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA**Fotografía 7-2** Detalles de la falla del muro M1-SF

(a) Detalle falla escalonada en la cara frontal del muro



(b) Detalle falla escalonada en la cara posterior del muro



(c) Detalle de la falla escalonada

Durante el proceso de ensayo del muro de mampostería sin fachada ventilada, se observa que las primeras fisuras se presentan en la zona sometida a esfuerzos de tensión, conformando una falla escalonada en la longitud y altura del muro siendo esta la falla típica de este tipo de muros.

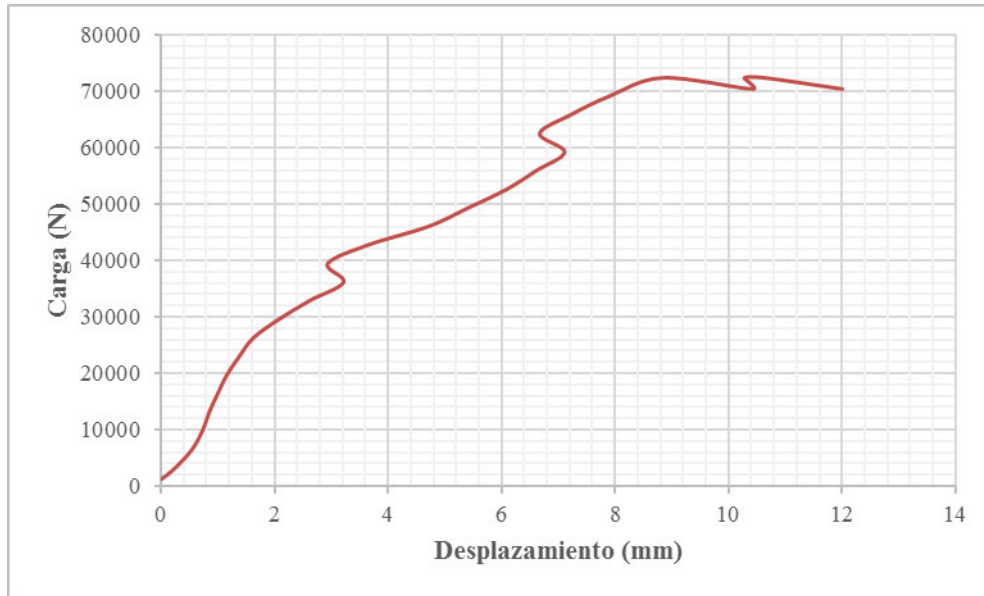
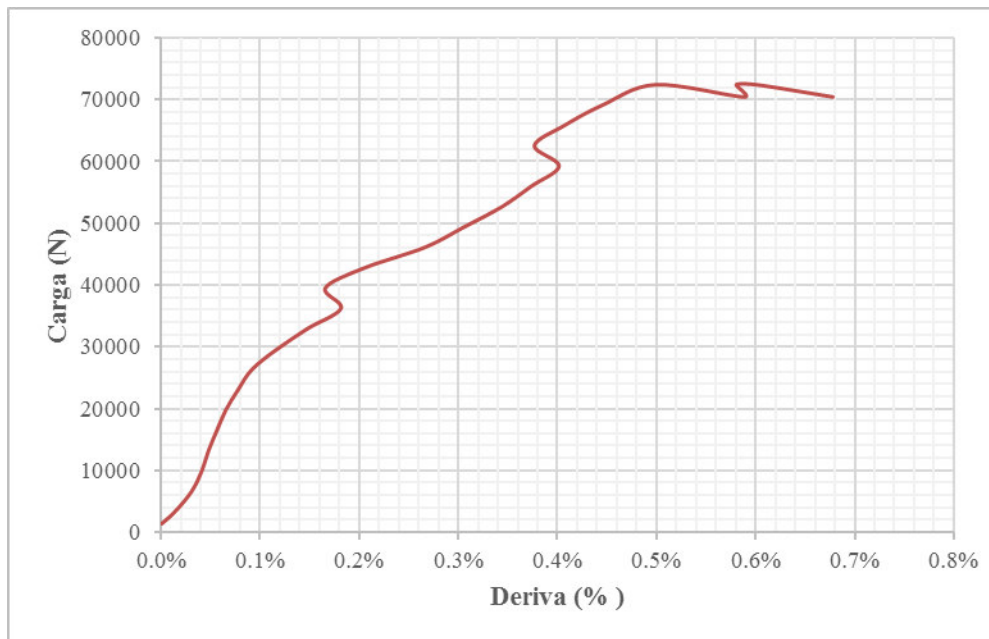
MURO M2-SF

Fotografía 7-3 Montaje e instrumentación del muro M2-SF



DESCRIPCIÓN

M2-SF	Muro no estructural de mampostería.
Tipo de fachada	Sin fachada

CARGA VS DESPLAZAMIENTO**Gráfica 7-3** Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro M2-SF**CARGA VS DERIVA****Gráfica 7-4** Carga lateral en el plano vs Deriva muro M2-SF

La carga máxima alcanzada fue de 72490 N y se presentó para una deriva de 0.5%. Adicionalmente se observan en la Gráfica 7-3 y la Gráfica 7-4 altibajos, los cuales indican pérdida de la capacidad que se va presentando en el muro a medida que va

avanzando el ensayo y se va degradando el muro.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-4 Detalles de la falla del muro M2-SF



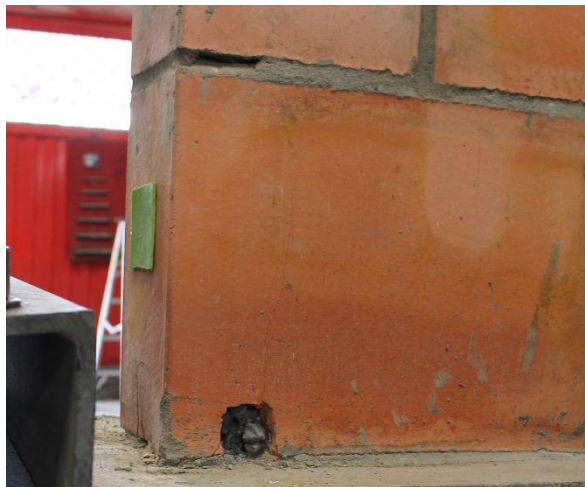
(a) Escalonamiento en la cara frontal del muro



(b) Escalonamiento en la cara posterior del muro



(c) Detalle de la falla escalonada



(d) Aplastamiento en la zona de compresión

Durante el proceso de ensayo del muro de mampostería, se observan fisuras en la viga de soporte, así como en la zona sometida a esfuerzos de tensión. Adicionalmente, se presenta aplastamiento en la zona de compresión como se observa en el detalle d. En general, la falla es escalonada en la longitud y altura del muro.

MURO M4-SF

Fotografía 7-5 Montaje e instrumentación del muro M4-SF

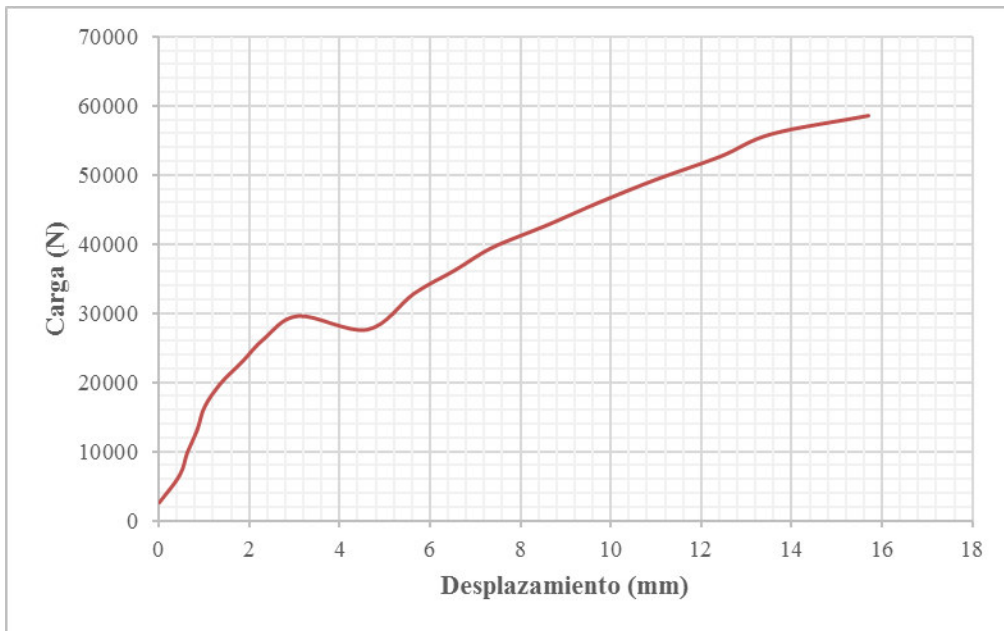
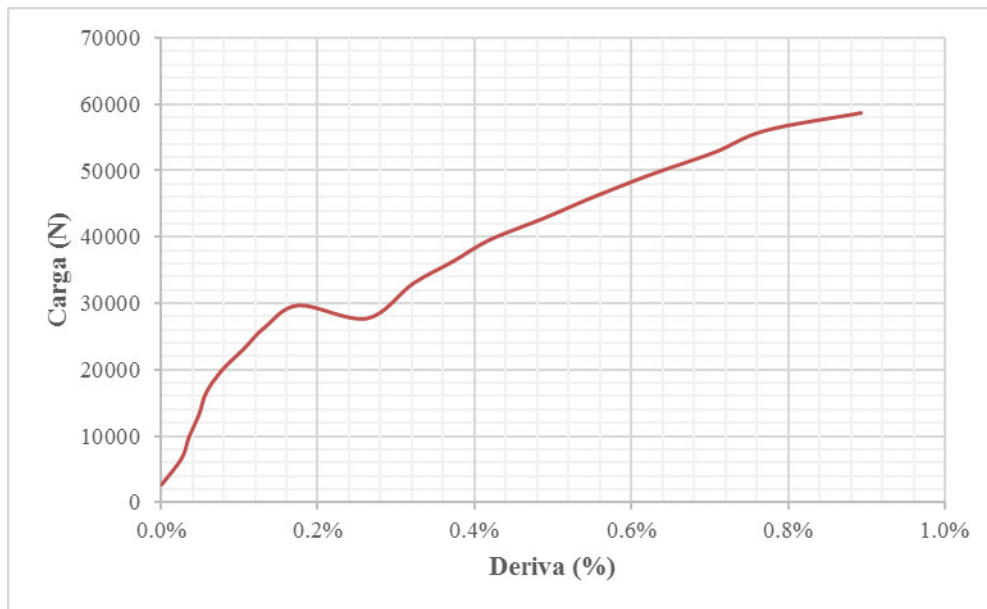


DESCRIPCIÓN

M4-SF	Muro no estructural de mampostería.
Tipo de fachada	Sin fachada

CARGA VS DESPLAZAMIENTO

--

Gráfica 7-5 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro M4-SF**CARGA VS DERIVA****Gráfica 7-6** Carga lateral en el plano vs Deriva muro M4-SF

En la Gráfica 7-6 se evidencia que la carga máxima se presenta para la deriva máxima presentada durante el ensayo, esto es una deriva de 0.9%, que corresponde a un desplazamiento de 15.71 mm del muro. La carga máxima alcanzada es de 58651 N.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA**Fotografía 7-6** Detalles de la falla del muro M4-SF

(a) Falla escalonada en la cara frontal del muro



(b) Falla escalonada en la cara posterior del muro



(c) Detalle de la falla escalonada



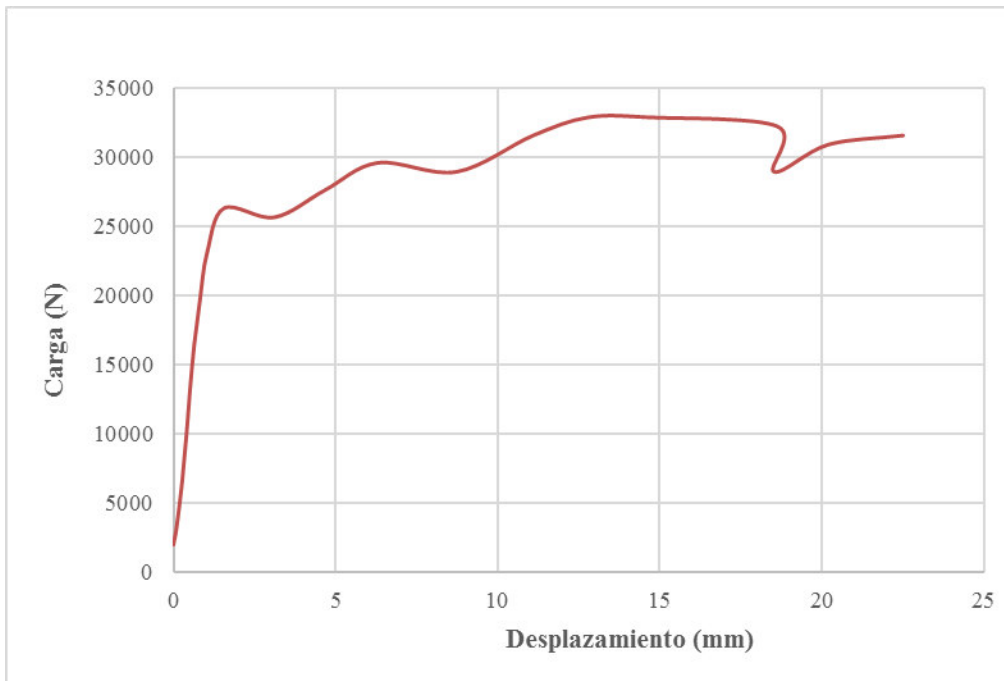
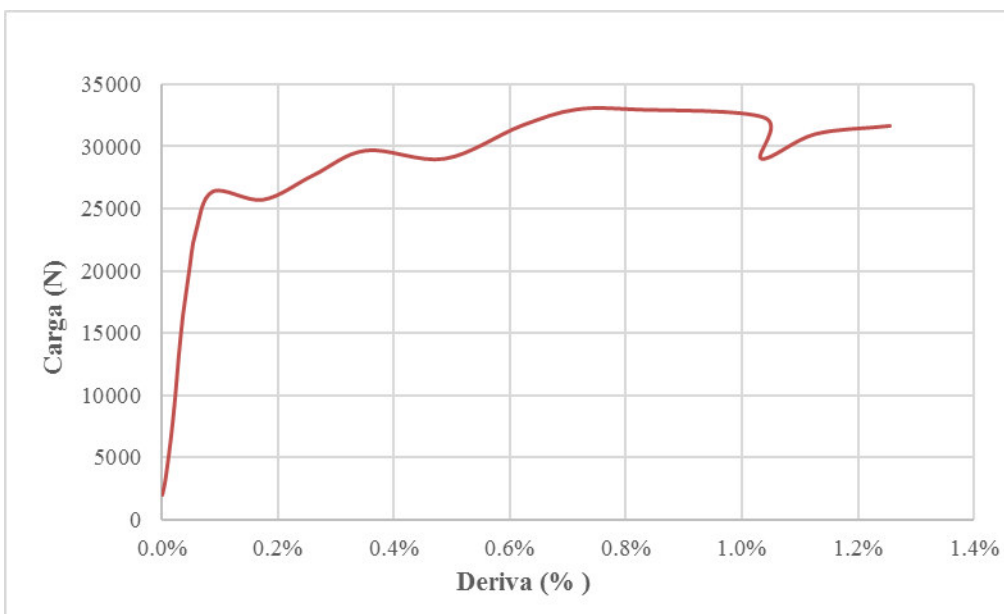
(d) Fisuras en la viga de soporte y en la unión con el muro

Durante el ensayo del muro, se evidencian fisuras en la viga de soporte y la falla escalonada a lo largo del muro a medida que la carga va aumentando.

MURO M7-FA**Fotografía 7-7** Montaje e instrumentación del muro M7-FA**DESCRIPCIÓN**

M7-FA	Muro no estructural de mampostería.
Tipo de fachada	Fachada adherida

CARGA VS DESPLAZAMIENTO

Gráfica 7-7 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro M7-FA**CARGA VS DERIVA****Gráfica 7-8** Carga lateral en el plano vs Deriva muro M7-FA

La Gráfica 7-8 muestra que se alcanzó un desplazamiento máximo de 22.52mm en el

ensayo, el cual es mucho mayor a los obtenidos en los muros anteriores sin fachada ventilada, esto debido a que el sistema de fachada ventilada “cose” las fisuras escalonadas que se presentan en el muro, permitiéndole alcanzar derivas mayores antes de que se inestabilice el muro. La carga máxima alcanzada fue 36245 N.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-8 Detalles de la falla del muro M7-FA



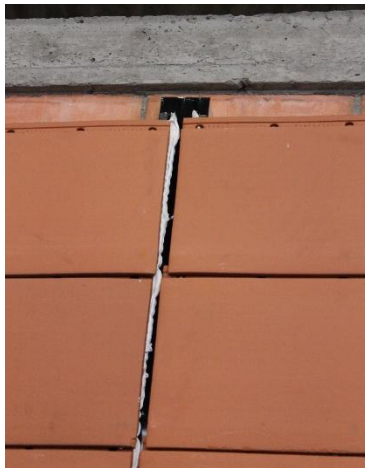
(a) Vista frontal del muro después del ensayo



(b) Falla escalonada en la cara posterior del muro



(c) Detalle de la falla escalonada



(d) Desplazamiento relativo de los elementos de fachada ventilada



(e) Desplazamiento del perfil de soporte y falla de los ladrillos del muro

Durante el ensayo del muro, se observa en la cara posterior la falla típica escalonada, la cual se presenta de manera más pronunciada cerca al punto de aplicación de carga. En la cara frontal, se observa desplazamiento relativo de las piezas de fachada ventilada, reflejando la flexibilidad del adhesivo sin que se presente falla de las mismas. Adicionalmente, en el detalle c, se presenta desgarre en la conexión del perfil con el ángulo de soporte, lo cual produjo un desplazamiento del perfil respecto a su posición original.

MURO M8-FT

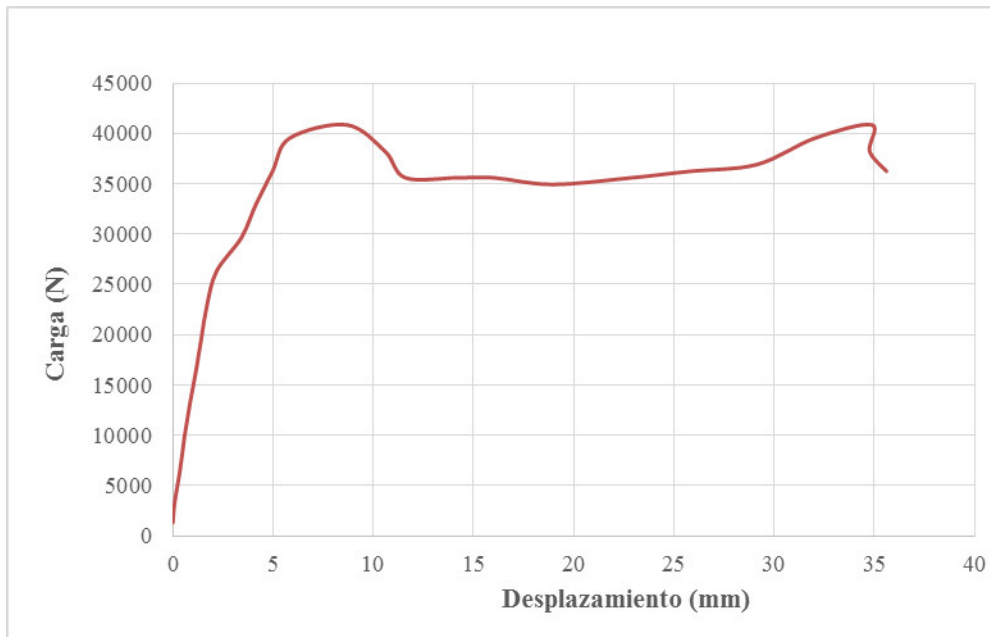
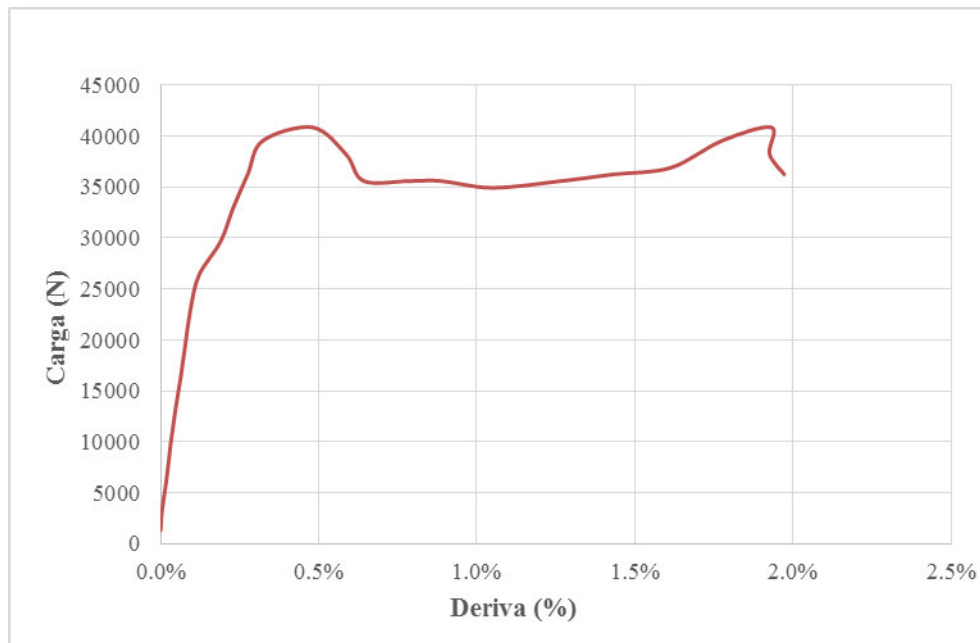
Fotografía 7-9 Montaje e instrumentación del muro M8-FT



DESCRIPCIÓN

M8-FT	Muro no estructural de mampostería.
Tipo de fachada	Fachada con tornillo

CARGA VS DESPLAZAMIENTO

Gráfica 7-9 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro M8-FT**CARGA VS DERIVA****Gráfica 7-10** Carga lateral en el plano vs Deriva muro M8-FT

La Gráfica 7-9 muestra que durante el ensayo se alcanzó un desplazamiento de 35.6 mm, el cual corresponde a una deriva del 2%, se logró este mayor desplazamiento,

debido a que la fachada le proporciona estabilidad al muro “cosiendo” las fisuras escalonadas. La carga máxima alcanzada durante el ensayo fue 42176 N.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-10 Detalles de la falla del muro M8-FT



(a) Falla de la conexión de las piezas de arcilla de fachada al perfil



(b) Falla escalonada en la cara posterior del muro



(c) Detalles de la falla escalonada del muro



(d) Aplastamiento y rotura del ladrillo en la zona de compresión



(e) Falla del anclaje del sistema de fachada al muro



(f) Falla en la conexión de las piezas de fachada al perfil

En la secuencia de fotos, se observa nuevamente en la cara posterior la falla típica escalonada, la cual se hace más evidente en la zona de tensión. De igual manera, se presenta aplastamiento en la zona de compresión como se indica en el detalle (d). Asimismo, es posible observar que al ser la falla de este muro escalonada por las pegas, el anclaje del sistema de fachada ventilada, el cual quedó ubicado en una de las pegas, como se muestra en el detalle (e), falla cuando el muro se fisura, lo que le permite el desplazamiento al perfil correspondiente. Adicionalmente, se presentó falla en la conexión de la pieza de fachada ventilada al perfil, debido a la rigidez del anclaje.

MURO M9-FT

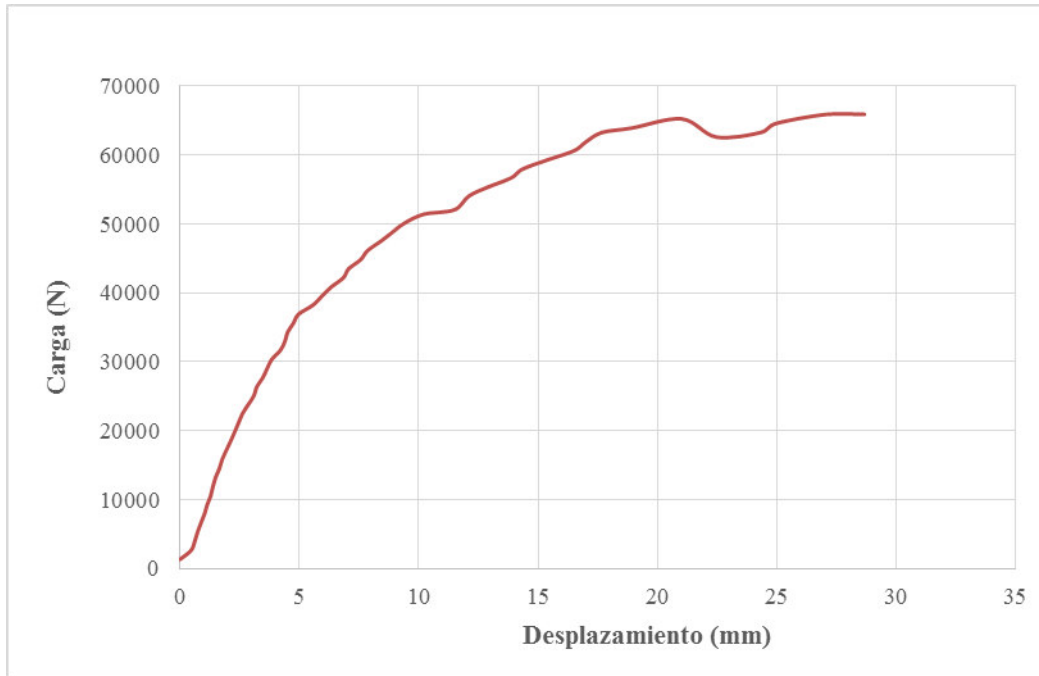
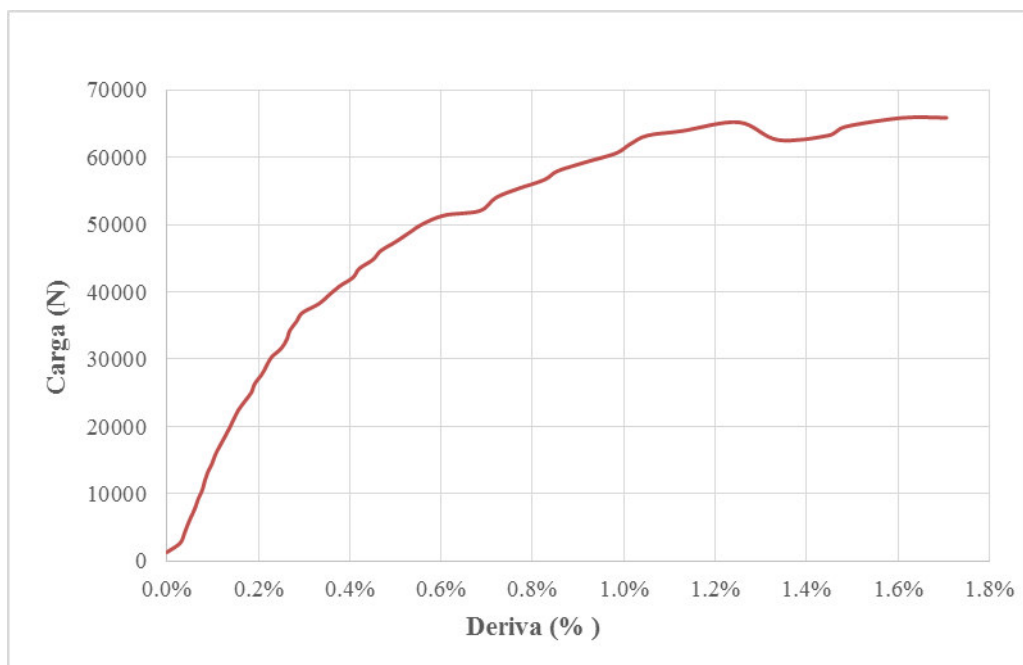
Fotografía 7-11 Montaje e instrumentación del muro M9-FT



DESCRIPCIÓN

M9-FT	Muro no estructural de mampostería.
Tipo de fachada	Fachada con tornillo

CARGA VS DESPLAZAMIENTO

Gráfica 7-11 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro M9-FT**CARGA VS DERIVA****Gráfica 7-12** Carga lateral en el plano vs Deriva muro M9-FT

En la Gráfica 7-12 se evidencia que la carga máxima alcanzada durante el ensayo es 65900N, la cual se presenta para una deriva de 1.7%, que corresponde a un desplazamiento de 29.7 mm, siendo este el máximo presentando durante el ensayo.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-12 Detalles de la falla del muro M9-FT



(a) Falla en la base del muro y detalle de falla del elemento de fachada



(b) Aplastamiento de los ladrillos en la zona de compresión



(c) Desplazamiento del perfil de soporte



(d) Falla en la conexión de las piezas de fachada al perfil y desplazamiento relativo entre las piezas



(e) Detalle rotura del elemento de fachada

Se observa en la cara posterior del muro, la falla típica escalonada, de igual manera, se presenta aplastamiento en la zona de compresión como se indica en el detalle (b) y se evidencian celdas llenas de grouting que no estaban contempladas, lo cual incrementa el peso y la rigidez del muro. Asimismo, es posible observar que uno de los ángulos de conexión del perfil al muro, se deslizó de su posición original aproximadamente 1,5 cm, debido a que el perfil se desgarró en ese punto. Adicionalmente, se presentó falla en la conexión de la pieza de fachada ventilada al perfil, debido a la rigidez del anclaje.

MURO M10-FT

Fotografía 7-13 Montaje e instrumentación del muro M10-FT

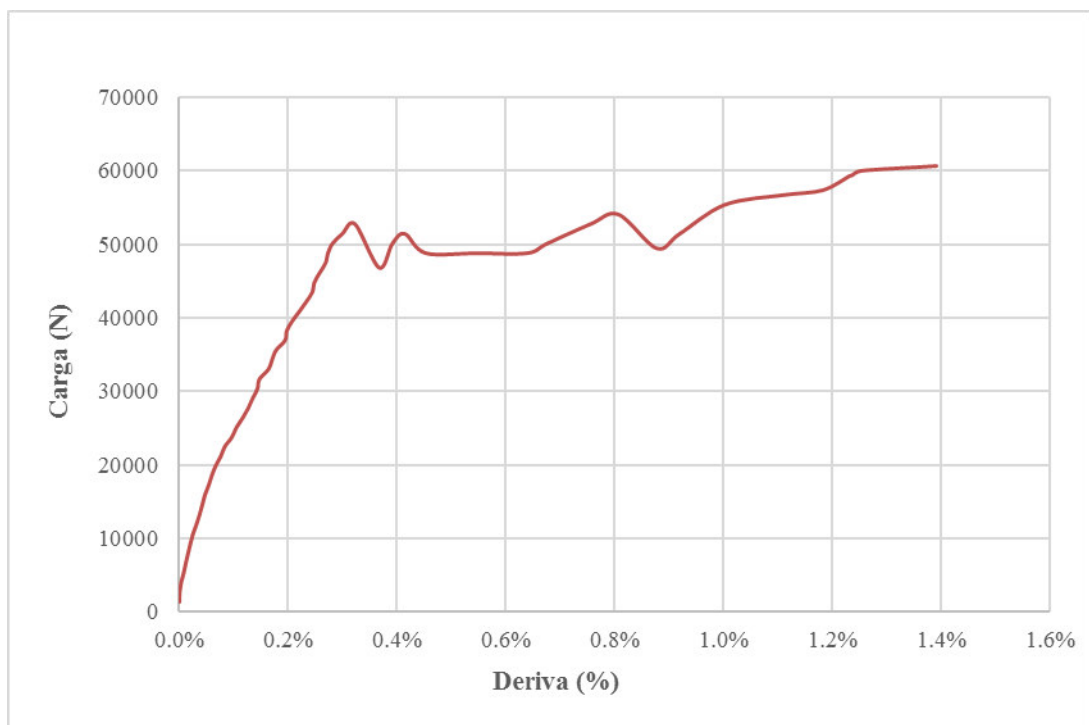


DESCRIPCIÓN

M10-FT	Muro no estructural de mampostería.
Tipo de fachada	Fachada con tornillo

CARGA VS DESPLAZAMIENTO

--

Gráfica 7-13 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro M10-FT**CARGA VS DERIVA****Gráfica 7-14** Carga lateral en el plano vs Deriva muro M10-FT

La máxima carga que se alcanza durante el ensayo es de 61946 N. La deriva máxima

alcanzada fue de 1.4%, que corresponde a un desplazamiento de 26.3 mm.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-14 Detalles de la falla del muro M10-FT



(a) Falla escalonada en la cara posterior del muro



(b) Detalle de la falla escalonada



(c) Aplastamiento en la zona de compresión y rotura en las caras del ladrillo



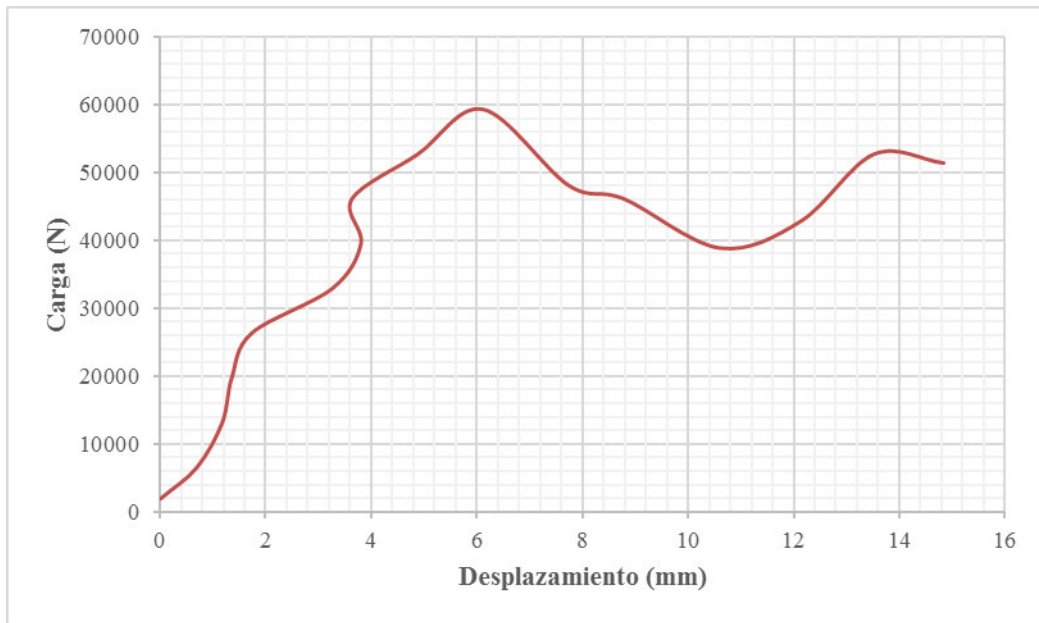
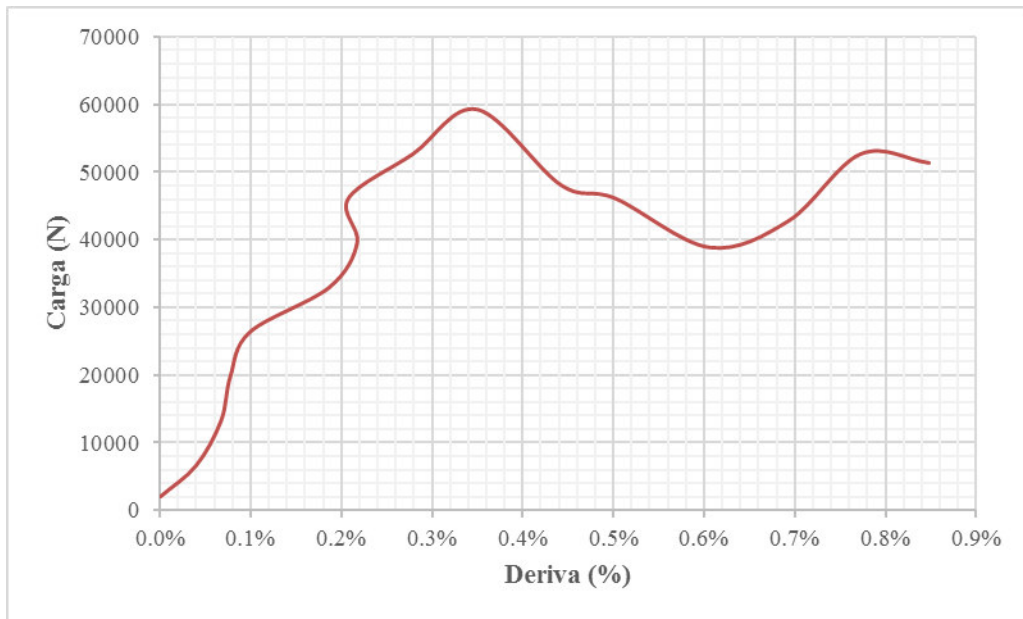
(f) Desplazamiento del perfil de soporte

Nuevamente se evidencia en la cara posterior del muro la falla escalonada, pronunciándose en la zona de tensión. De igual manera, se presenta aplastamiento en la zona de compresión como se indica en el detalle (c). Asimismo, debido a los escalamientos presentados en el muro y a la rigidez de la conexión con el ángulo mostrado en el detalle (f), el perfil de soporte se ve sometido a esfuerzos de torsión, lo que hace que este se desgarre y se desplace. No se presentó falla en las piezas de fachada ventilada.

MUROS DE CONCRETO**MURO C1-SF****Fotografía 7-15** Montaje e instrumentación del muro C1-SF**DESCRIPCIÓN**

C1-SF	Muro no estructural de concreto.
Tipo de fachada	Sin fachada

CARGA VS DESPLAZAMIENTO

Gráfica 7-15 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro C1-SF**CARGA VS DERIVA****Gráfica 7-16** Carga lateral en el plano vs Deriva muro C1-SF

En la Gráfica 7-16 se evidencia que durante el ensayo se alcanzó una deriva de 0.85% que corresponde a un desplazamiento de 14.85 mm. La carga máxima alcanzada fue de 63264N.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA**Fotografía 7-16** Detalles de la falla del muro C1-SF

(a) Fisura en la base del muro



(b) Detalle de la falla en el muro



(c) Fisura en la viga de soporte

Durante el ensayo del muro de concreto sin fachada ventilada, se empezó a fisurar la viga de soporte del muro a una carga de 38880 N. Adicionalmente, se presentan las primeras fisuras en el muro para una carga de 52720 N, las cuales se concentran en la base del mismo. Al terminar el ensayo se evidencia que el muro se separa de la viga inferior, como se observa en el detalle (b).

MURO C2-SF

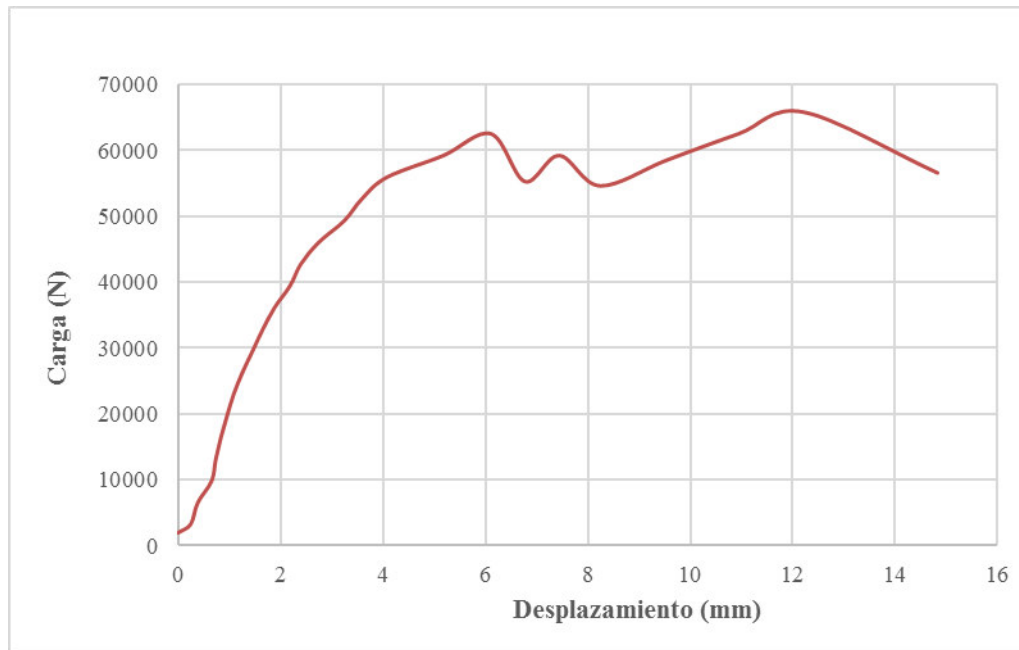
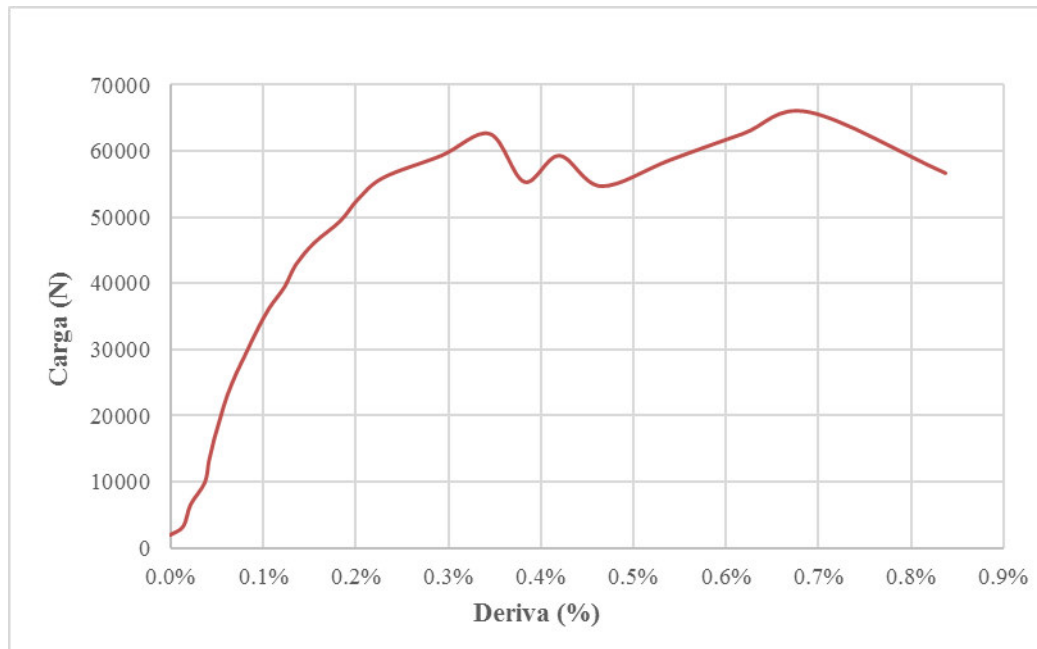
Fotografía 7-17 Montaje e instrumentación del muro C2-SF



DESCRIPCIÓN

C2-SF	Muro no estructural de concreto.
Tipo de fachada	Sin fachada

CARGA VS DESPLAZAMIENTO

Gráfica 7-17 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro C2-SF**CARGA VS DERIVA****Gráfica 7-18** Carga lateral en el plano vs Deriva muro C2-SF

En la Gráfica 7-18 se evidencia que la deriva máxima es 0.84%, que corresponde a un desplazamiento de 14.8 mm. La carga máxima alcanzada es de 69195 N.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA**Fotografía 7-18** Detalles de la falla del muro C2-SF

(a) Fisura en la base del muro



(b) Detalle de desprendimiento de la base del muro



(c) Fisura en la viga de soporte.

Durante el ensayo del muro de concreto sin fachada ventilada, se presentaron fisuras en

la base del muro cuando se tenía una carga de 36245N. Adicionalmente, se observan fisuras en la viga soporte a los 56014 N. Al terminar el ensayo se evidencia que el muro se separa de la viga inferior, por insuficiencia de anclaje, como se observa en el detalle (b).

MURO C3-SF

Fotografía 7-19 Montaje e instrumentación del muro C3-SF

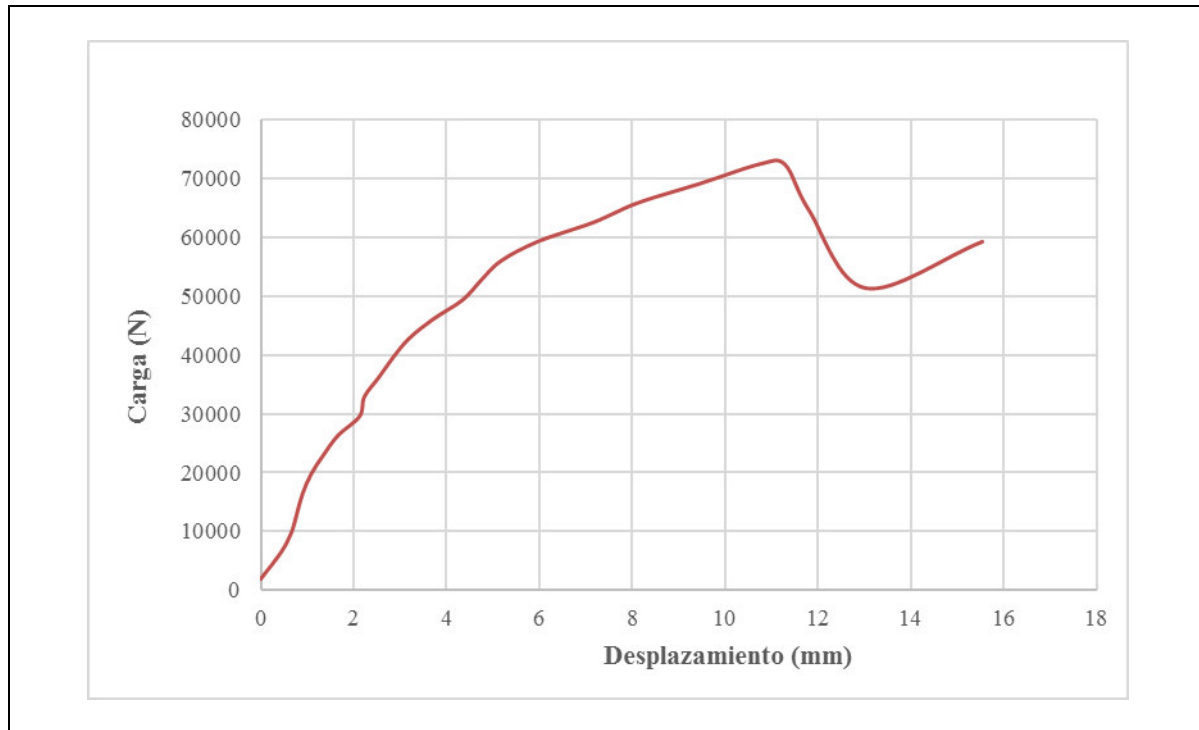
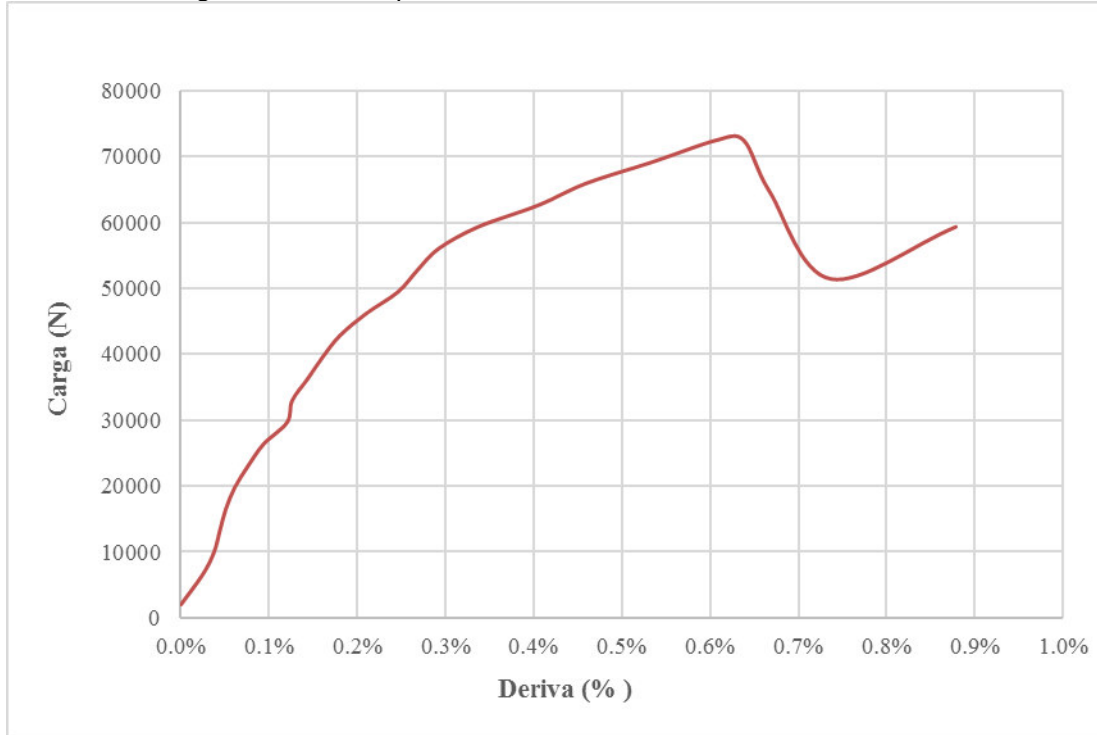


DESCRIPCIÓN

C3-SF	Muro no estructural de concreto.
Tipo de fachada	Sin fachada

CARGA VS DESPLAZAMIENTO

Gráfica 7-19 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro C3-SF

**CARGA VS DERIVA****Gráfica 7-20** Carga lateral en el plano vs Deriva muro C3-SF

La carga máxima alcanzada durante el ensayo fue 73808 N. El desplazamiento máximo fue 15.5 mm que corresponde a una deriva de 0.88%.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA**Fotografía 7-20** Detalles de la falla del muro C3-SF

(a) Fisura en la base del muro



(b) Fisura en la parte superior del muro



(c) Detalle de la fisura en la base del muro

Se presentaron fisuras en la parte superior del muro. Adicionalmente, se observan fisuras en la viga soporte a una carga de 69194 N. Al terminar el ensayo se evidencia que el muro se separa de la viga inferior, como se observa en el detalle (c), por la insuficiencia de anclaje.

MURO C7-FT

Fotografía 7-21 Montaje e instrumentación del muro C7-FT

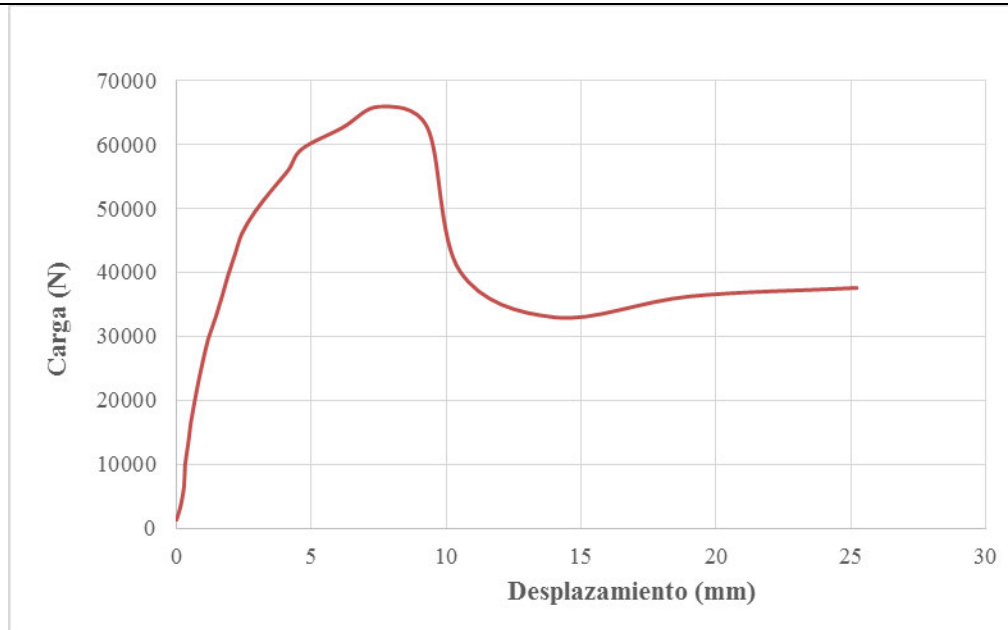


DESCRIPCIÓN

C7-FT	Muro no estructural de concreto.
Tipo de fachada	Fachada con tornillo

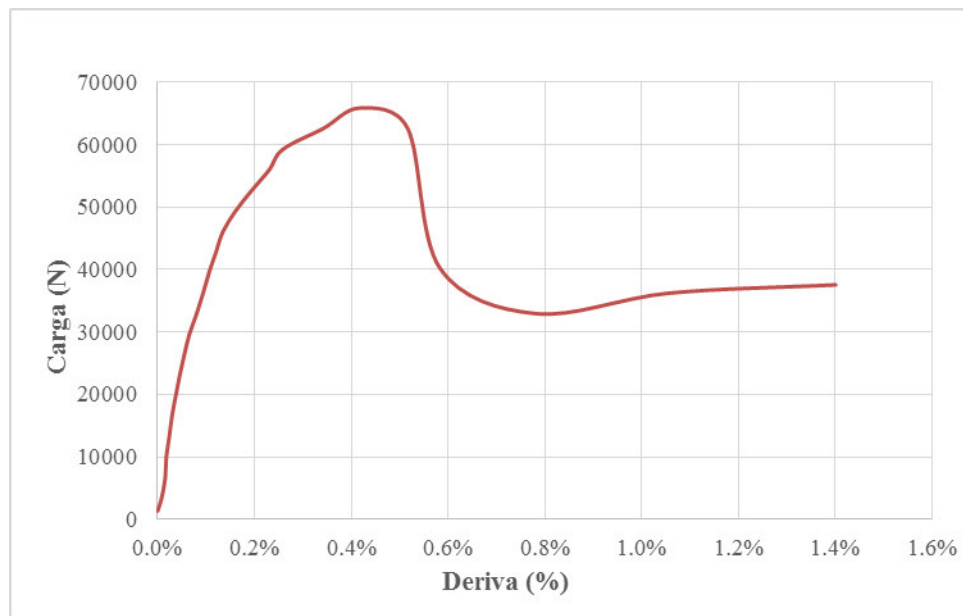
CARGA VS DESPLAZAMIENTO

Gráfica 7-21 Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro C7-FT



CARGA VS DERIVA

Gráfica 7-22 Carga lateral en el plano vs Deriva muro C7-SF



En la Gráfica 7-22 se evidencia que la deriva máxima alcanzada durante el ensayo fue de 1.4% que corresponde a un desplazamiento de 25.2 mm. La carga máxima alcanzada fue 66559 N.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-22 Detalles de la falla del muro C7-FT



(a) Falla en la base del muro





(b) Detalle falla del concreto en la base del muro

Se genera falla en la conexión viga - muro, induciendo fisuras en la base del muro. Este comportamiento no permite que se desarrolle la capacidad total del muro y por lo tanto no se generan esfuerzos en la fachada.

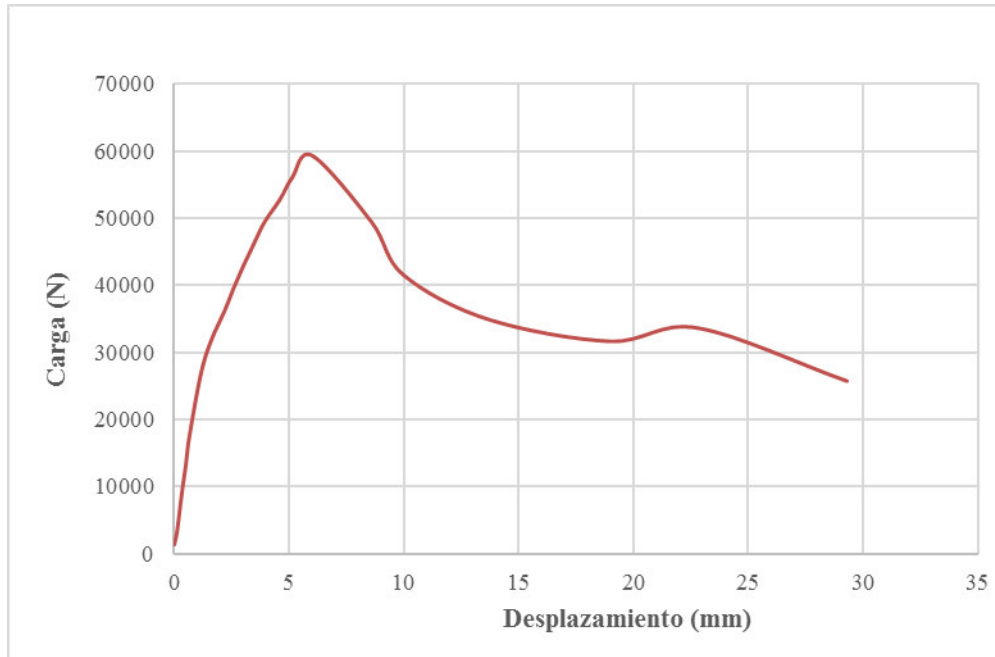
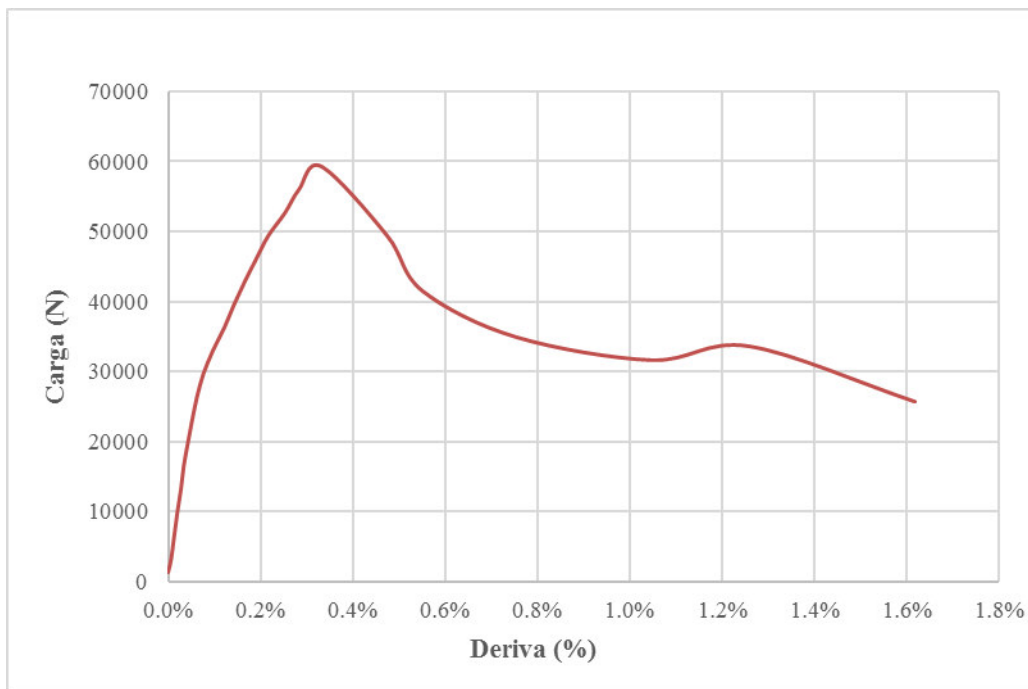
MURO C8-FT

Fotografía 7-23 Montaje e instrumentación del muro C8-FT



DESCRIPCIÓN

C8-FT	Muro no estructural de concreto.
Tipo de fachada	Fachada con tornillo

CARGA VS DESPLAZAMIENTO**Gráfica 7-23** Carga lateral en el plano vs Desplazamiento muro C8-FT**CARGA VS DERIVA****Gráfica 7-24** Carga lateral en el plano vs Deriva muro C8-SF

La carga máxima alcanzada durante el ensayo fue 61946 N. El desplazamiento máximo presentado fue 29.3 mm, que corresponde a una deriva de 1.6%.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-24 Detalles de la falla del muro C8-FT



(a) Falla en la base del muro



(b) Detalle desprendimiento de la base del muro

Se genera falla en la conexión viga - muro, induciendo fisuras en la base del muro. Este comportamiento no permite que se desarrolle la capacidad total del muro y por lo tanto no se generan esfuerzos en la fachada.

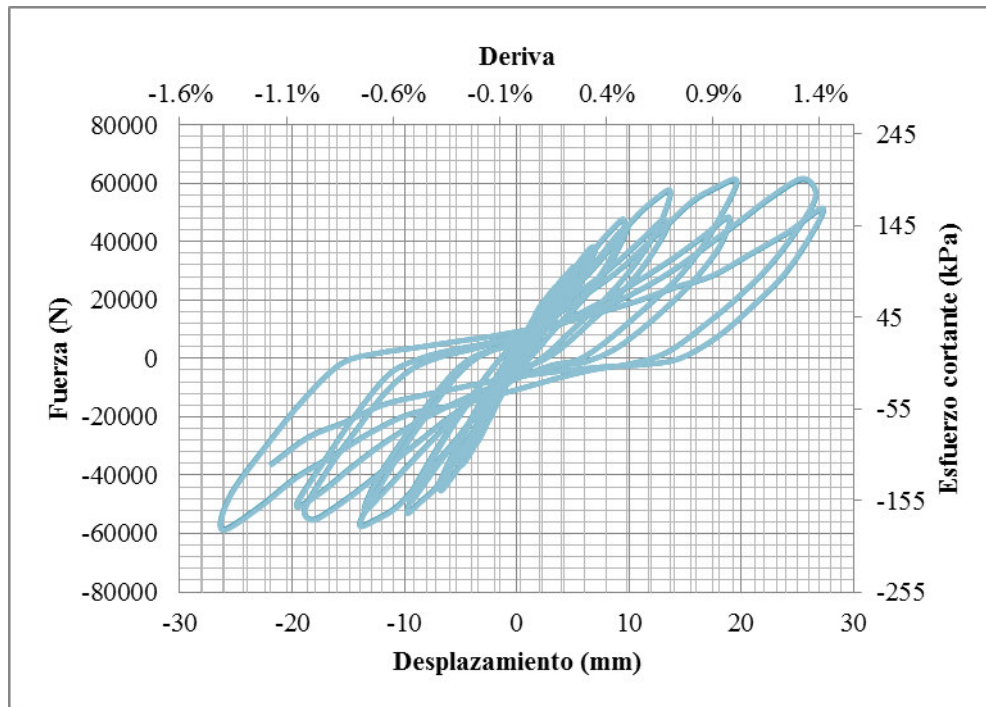
H. Anexo: Resultado ensayos pseudo-dinámicos en el plano de los muros

MUROS DE MAMPOSTERIA**MURO M3-D-SF****Fotografía 7-25** Montaje e instrumentación del muro M3-D-SF**DESCRIPCIÓN**

M3-D-SF	Muro no estructural de mampostería.
Tipo de fachada	Sin fachada

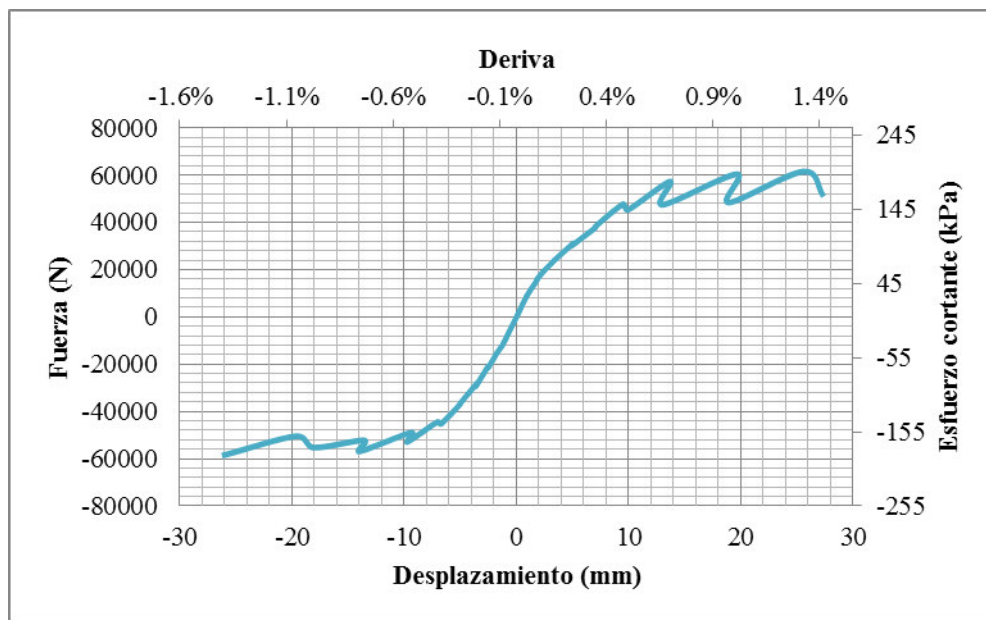
RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-25 Curva de histéresis del muro M3-D-SF



ENVOLVENTE DE LA RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-26 Envoltorio de los ciclos de histéresis del muro M3-D-SF



Se observa que se presenta un comportamiento lineal elástico hasta una deriva del

0.4%, valor a partir del cual el muro entra en el rango inelástico con ciclos de carga y descarga que van degradándose y representan la disminución de rigidez del muro hasta que ocasionan junto con la formación de las fisuras la disminución de capacidad del muro. La carga máxima alcanzada fue 61347N, que corresponde a una deriva de 1.3%.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-26 Detalles de la falla del muro M3-D-SF



(a) Falla en el muro en la zona de tensión y compresión alternadas



(b) Detalle de las fisuras en la base del muro

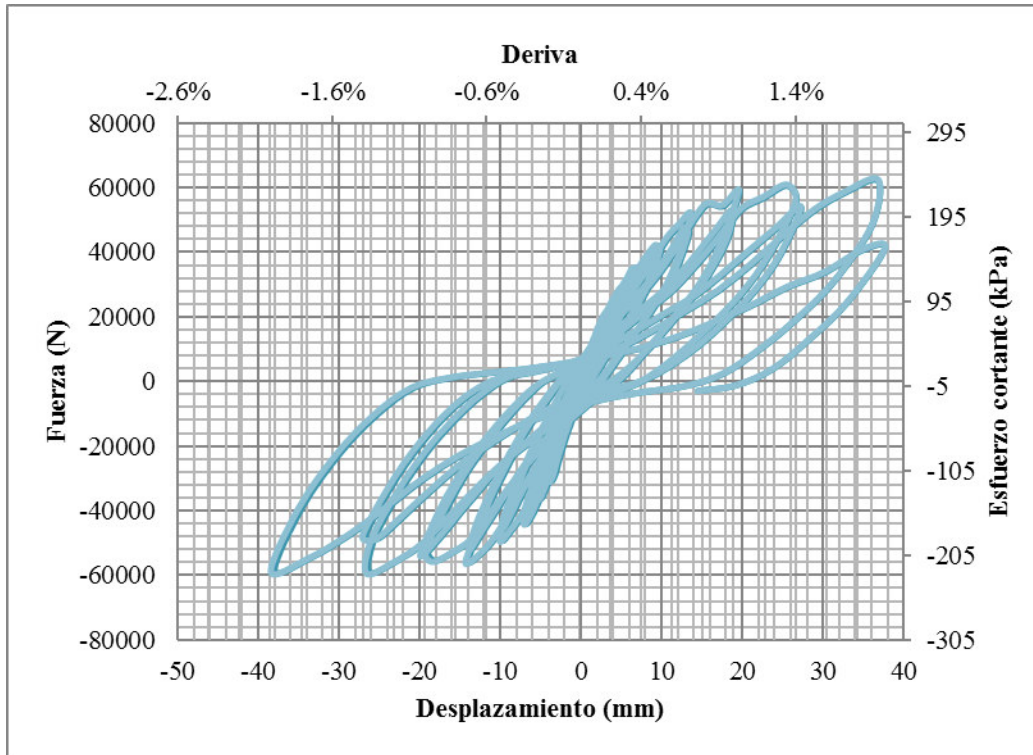
Durante el ensayo del muro de mampostería, se observa en el detalle (a) falla del muro en la zona sometida a tensión y compresión alternadas y en el detalle (b) fisuras en la base del muro.

MURO M5-D-SF**Fotografía 7-27** Montaje e instrumentación del muro M5-D-SF**DESCRIPCIÓN**

M5-D-SF	Muro no estructural de mampostería.
Tipo de fachada	Sin fachada

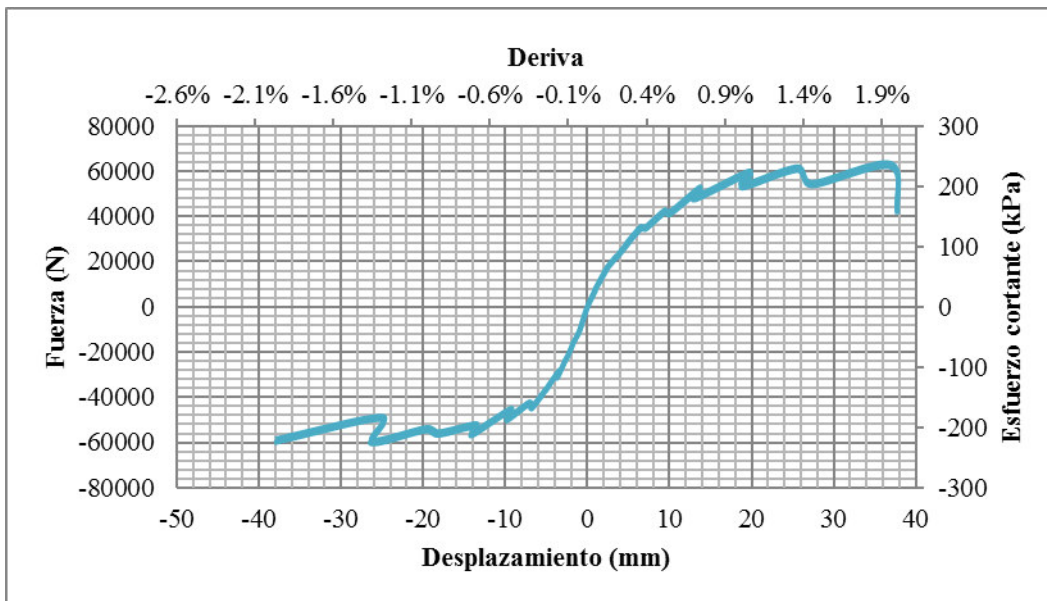
RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-27 Curva de histéresis del muro M5-D-SF



ENVOLVENTE DE LA RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-28 Envoltorio de los ciclos de histéresis del muro M5-D-SF



Se observa en la Gráfica 7-28 que la deriva hasta el rango lineal elástico es del 0.4%

aproximadamente. A partir de este punto el muro comienza a perder rigidez hasta que alcanza finalmente una deriva del 2%, que corresponde a un desplazamiento de 36.8 mm. La carga máxima alcanzada es de 62014 N, que corresponde a una deriva de 1.9%.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-28 Detalles de la falla del muro M5-D-SF



(a) Vista frontal de la falla escalonada en la zona del mortero



(b) Aplastamiento del mortero en la zona de compresión

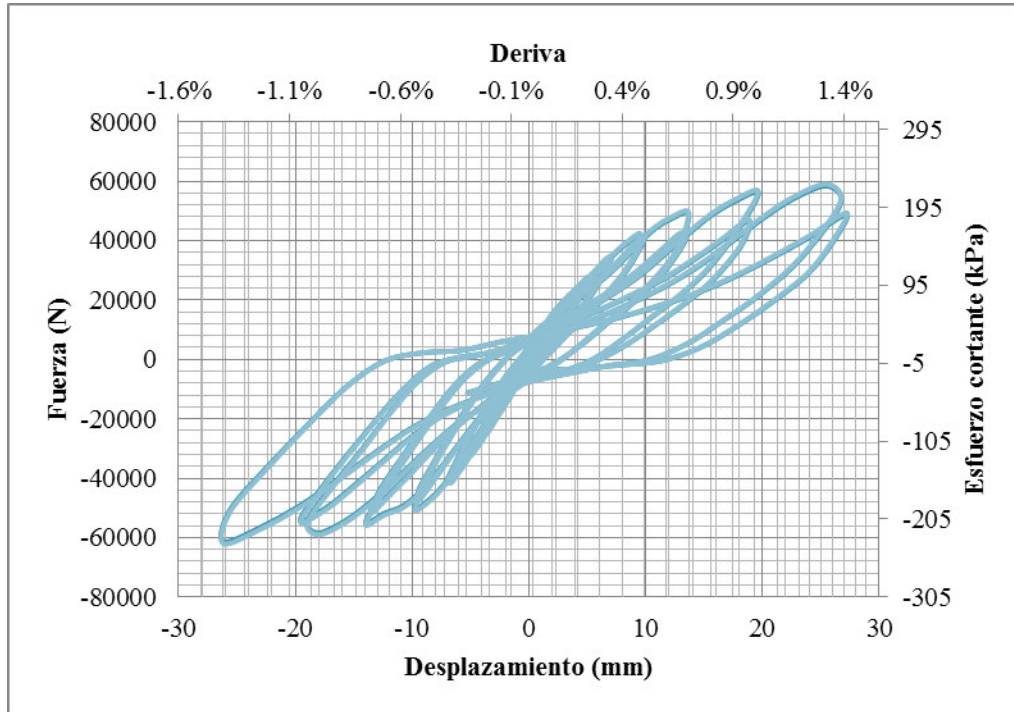
Se observa nuevamente la falla escalonada en la cara frontal del muro en el detalle (a) y fractura de las unidades de arcilla en las zonas de tensión y compresión como se muestra en el detalle (b).

MURO M6-D-SF**Fotografía 7-29** Montaje e instrumentación del muro M6-D-SF**DESCRIPCIÓN**

M6-D-SF	Muro no estructural de mampostería.
Tipo de fachada	Sin fachada

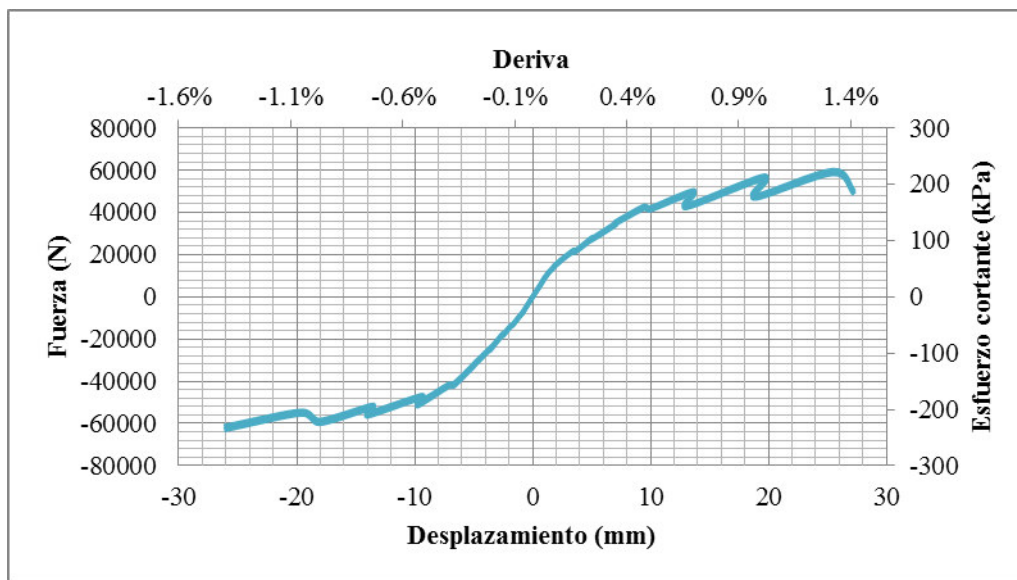
RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-29 Curva de histéresis del muro M6-D-SF



ENVOLVENTE DE LA RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-30 Envoltorio de los ciclos de histéresis del muro M6-D-SF



Al igual que los dos muros anteriores es posible evidenciar que hasta el 0.4% de la deriva se presenta un comportamiento lineal- elástico y que los ciclos de carga y descarga generan la pérdida de rigidez del muro, obteniendo finalmente un desplazamiento máximo alcanzado de 27.3 mm. La carga máxima alcanzada fue de 61350 N, que corresponde a una deriva del 1.4%.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-30 Detalles de la falla del muro M6-D-SF



(a) Vista frontal falla escalonada en el muro



(b) Fractura en la zona de compresión-tensión

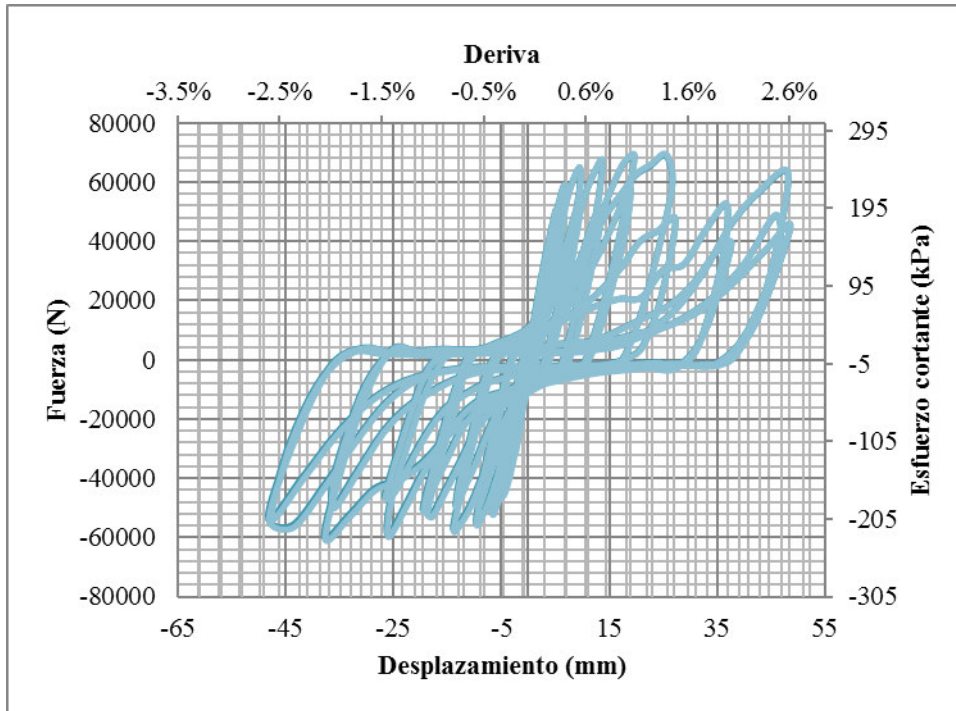
Se observa falla escalonada en la cara frontal del muro en el detalle (a) y fractura de las unidades de arcilla en las zonas de tensión y compresión como se muestra en el detalle (b).

MURO M11-D-FT**Fotografía 7-31** Montaje e instrumentación del muro M11-D-FT**DESCRIPCIÓN**

M11-D-FT	Muro no estructural de mampostería.
Tipo de fachada	Fachada con tornillo
Tipo de anclaje del sistema al muro	Pernos de expansión

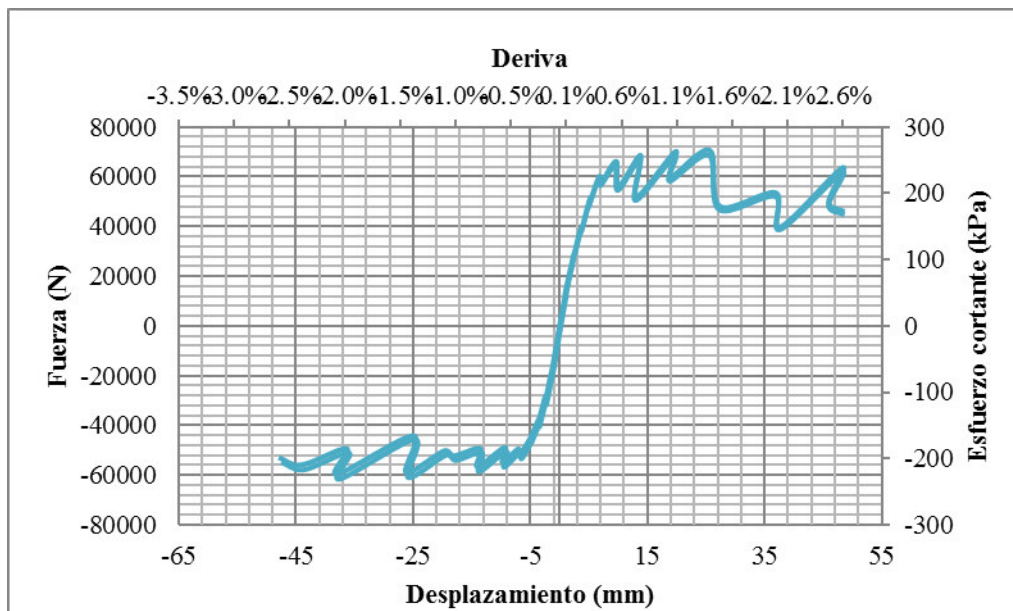
RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-31 Curva de histéresis del muro M11-D-FT



ENVOLVENTE DE LA RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-32 Envoltorio de los ciclos de histéresis del muro M11-D-FT



El rango lineal-elástico se presenta hasta una deriva del 0.4%, a partir de ese punto los efectos de carga y descarga disminuyen la rigidez del muro, hasta que se pierde la capacidad del mismo. La deriva máxima alcanzada fue 2.5% que corresponde a un desplazamiento de 48.5 mm, y el valor de carga máxima fue 68824N, cuando se tenía una deriva de 1.3%.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

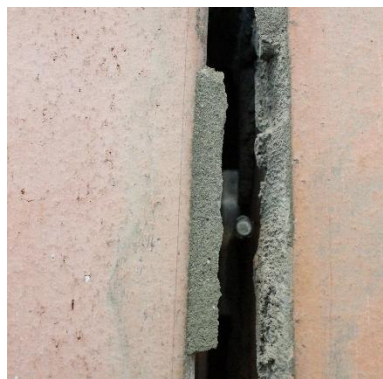
Fotografía 7-32 Detalles de la falla del muro M11-D-FT



(a) Vista frontal de la falla del muro



(b) Aplastamiento en la zona de tensión y compresión



(c) Desplazamiento del perfil de soporte



(c) Falla de la conexión de la pieza de fachada al perfil

Se observa falla en las zonas de tensión y compresión del muro, como se muestra en el detalle (b). Adicionalmente, se evidencia que en una de las conexiones entre el ángulo y el perfil, este último se desgarró, desplazándose de su posición inicial 2.7 cm aproximadamente por el efecto de escalonamiento del muro. En cuanto a las piezas de

fachada ventilada, se presenta falla de la pieza, debido a la rigidez de la conexión entre la misma y el perfil.

MURO M12-D-FTS

Fotografía 7-33 Montaje e instrumentación del muro M12-D-FTS

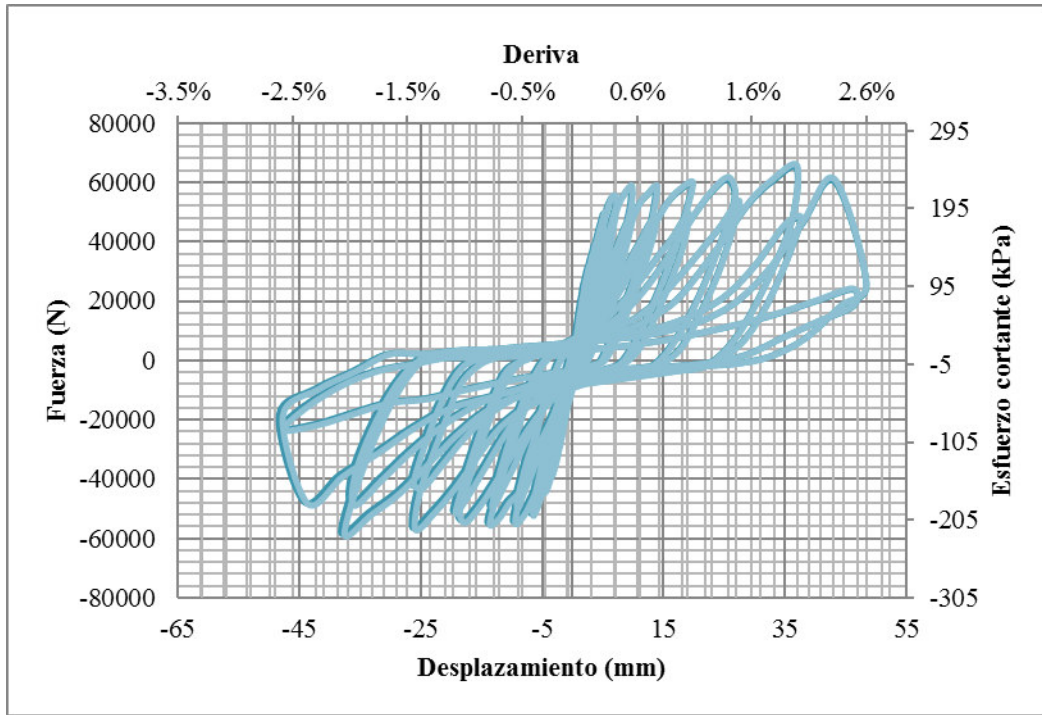


DESCRIPCIÓN

M12-D-FTS	Muro no estructural de mampostería.
Tipo de fachada	Fachada con tornillo y punto de sika
Tipo de anclaje del sistema al muro	Pernos de expansión

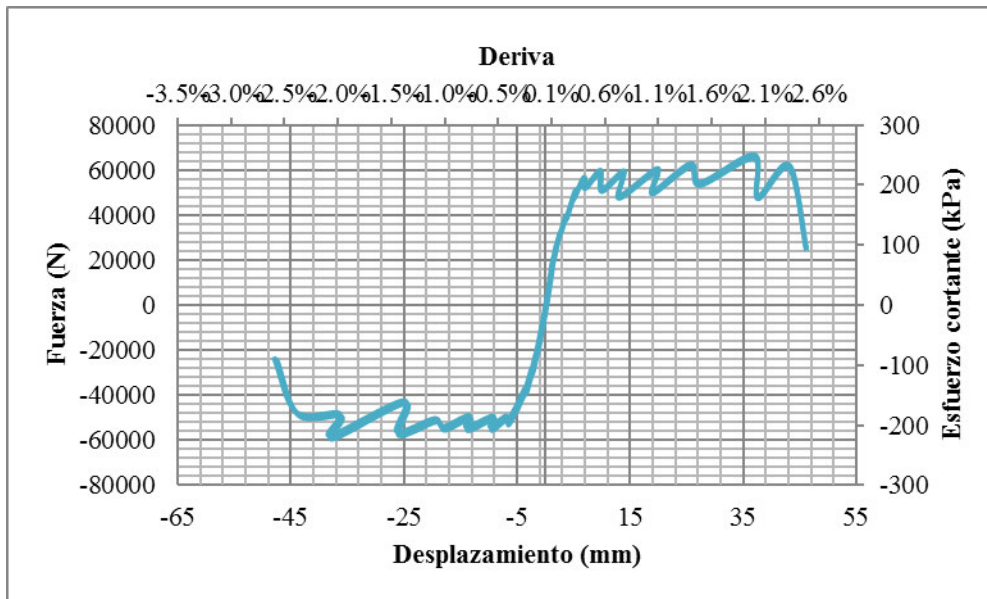
RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-33 Curva de histéresis del muro M12-D-FTS



ENVOLVENTE DE LA RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-34 Envoltorio de los ciclos de histéresis del muro M12-D-FTS



Se observa en las gráficas que el espécimen alcanza una deriva de 2.5%, que es mayor a las presentadas en los muros sin fachada ventilada, esto debido a que se presenta un

efecto de “cosido” por la fachada a las fisuras escalonadas que se presentan en el muro, permitiéndole alcanzar mayores deformaciones. La carga máxima alcanzada fue 64984 N, que corresponde a una deriva de 1.9%

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-34 Detalles de la falla del muro M12-D-FTS



(a) Aplastamiento en la zona de tensión – compresión y desintegración del ladrillo



(b) Desplazamiento del perfil de soporte

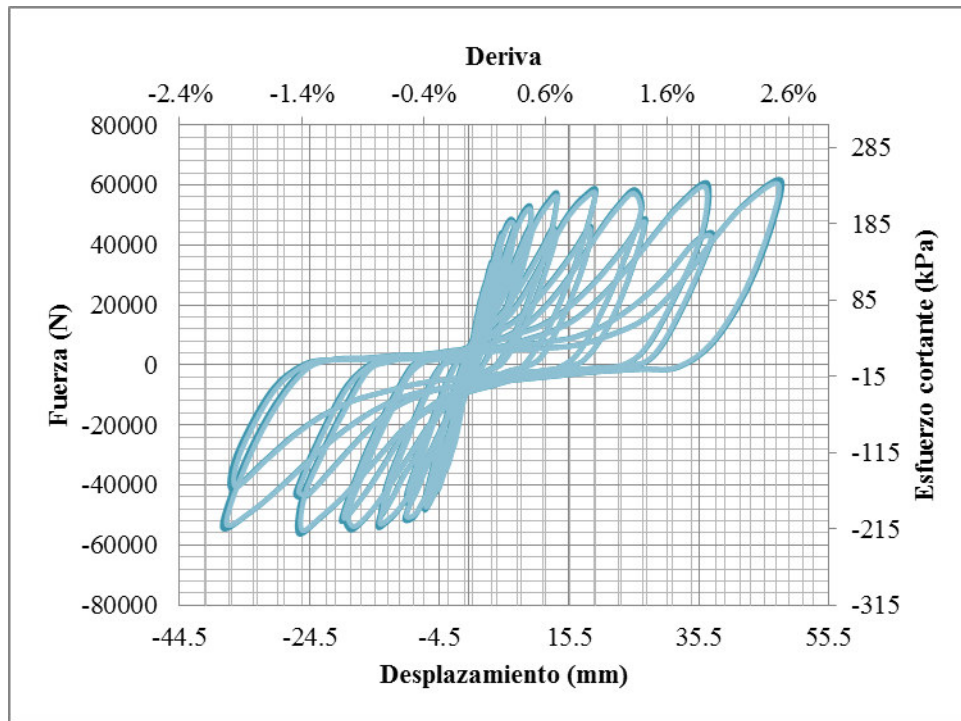
Se observa falla en las zonas de tensión y compresión del muro como se muestra en el detalle (b) presentándose incluso pandeo del refuerzo del muro en uno de los extremos al no haberse garantizado un relleno uniforme de grouting en las celdas. A diferencia del muro anterior, en este caso no se presenta falla de las piezas de fachada, sin embargo se presenta desplazamiento del perfil de soporte por desgarramiento en la zona de anclaje.

MURO M13-D-QFT**Fotografía 7-35 Montaje e instrumentación del muro M13-D-QFT****DESCRIPCIÓN**

M13-D-QFT	Muro no estructural de mampostería.
Tipo de fachada	Fachada con tornillo
Tipo de anclaje del sistema al muro	Anclaje químico

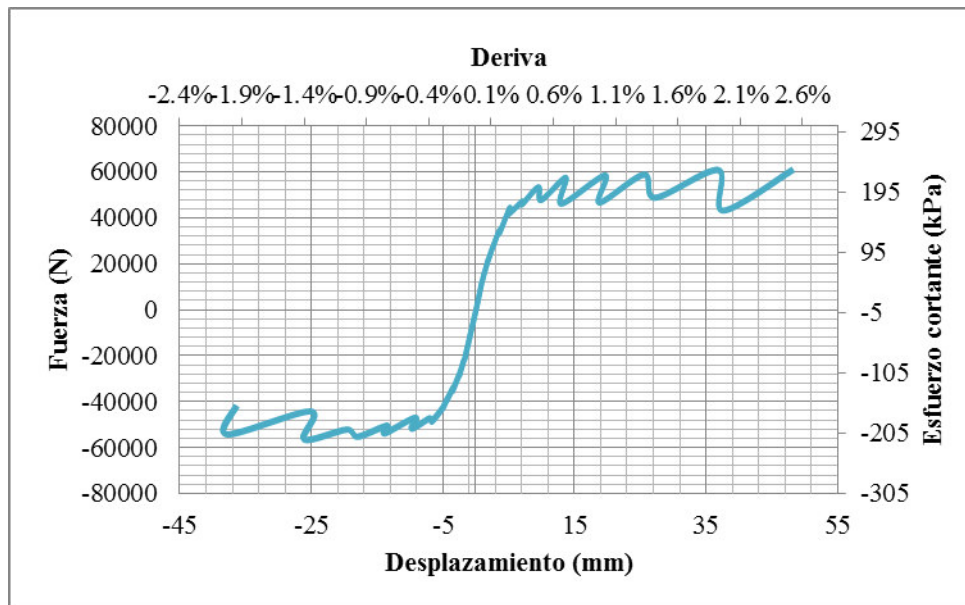
RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-35 Curva de histéresis del muro M13-D-QFT



ENVOLVENTE DE LA RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-36 Envoltente de los ciclos de histéresis del muro M13-D-QFT



Se observa en las gráficas que se llega a una deriva de 2.5% que corresponde a un desplazamiento de 48.31 mm, lo que verifica el hecho de que los muros de mampostería con fachada ventilada alcanzan mayores desplazamientos respecto a los

que no tienen fachada, antes de inestabilizarse. La carga máxima alcanzada fue 60724 N.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-36 Detalles de la falla del muro M13-D-QFT



(a) Fisuras en la base del muro



(b) Falla del anclaje químico

Durante el ensayo del muro de mampostería con fachada con tornillo y anclajes

químicos al muro se observa fisuración en la base del muro como muestra el detalle (a). Por otro lado, no se presenta falla en las piezas de fachada ventilada, sin embargo, al finalizar el ensayo se encuentra deslizamiento del anclaje químico de sujeción del muro, como se muestra en el detalle (b), posiblemente debido a deficiencias en su proceso de instalación.

MURO M14-D-FA

Fotografía 7-37 Montaje e instrumentación del muro M14-D-FA

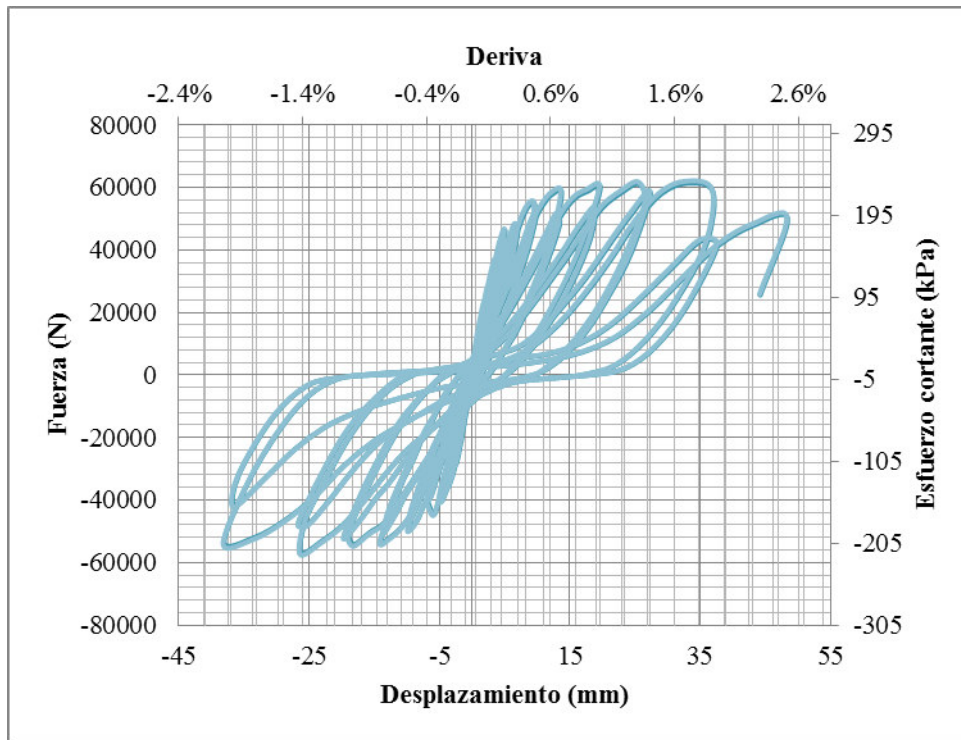


DESCRIPCIÓN

M14-D-FA	Muro no estructural de mampostería.
Tipo de fachada	Fachada adherida
Tipo de anclaje del sistema al muro	Pernos de expansión

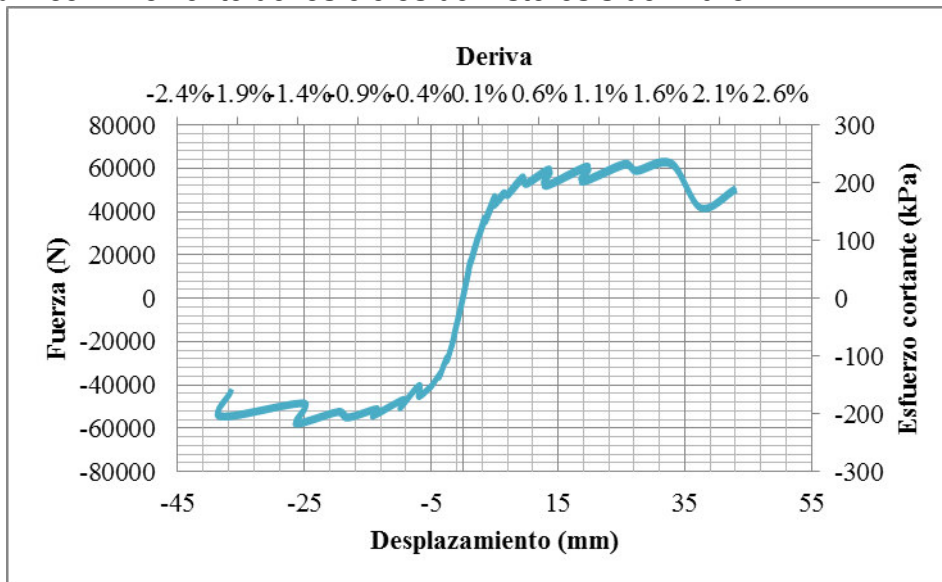
RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-37 Curva de histéresis del muro M14-D-FA



ENVOLVENTE DE LA RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-38 Envoltura de los ciclos de histéresis del muro M14-D-FA



En la

Gráfica 7-38, se observa que la deriva máxima alcanzada fue del 2,3%, que corresponde a un desplazamiento de 43.14 mm. La carga máxima alcanzada fue de

61368 N, para una deriva de 1.7%.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-38 Detalles de la falla del muro M14-D-FA



(a) Falla escalonada en la cara posterior del muro



(b) Aplastamiento en base en la zona de compresión-tensión



(c) Desplazamientos relativos de las piezas de fachada ventilada



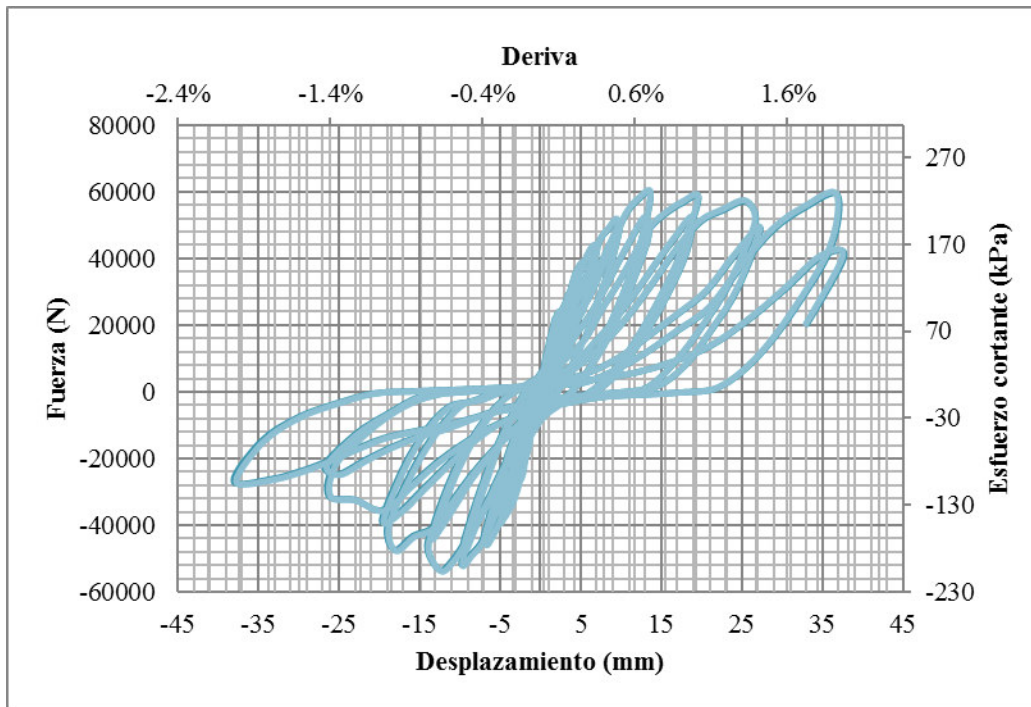
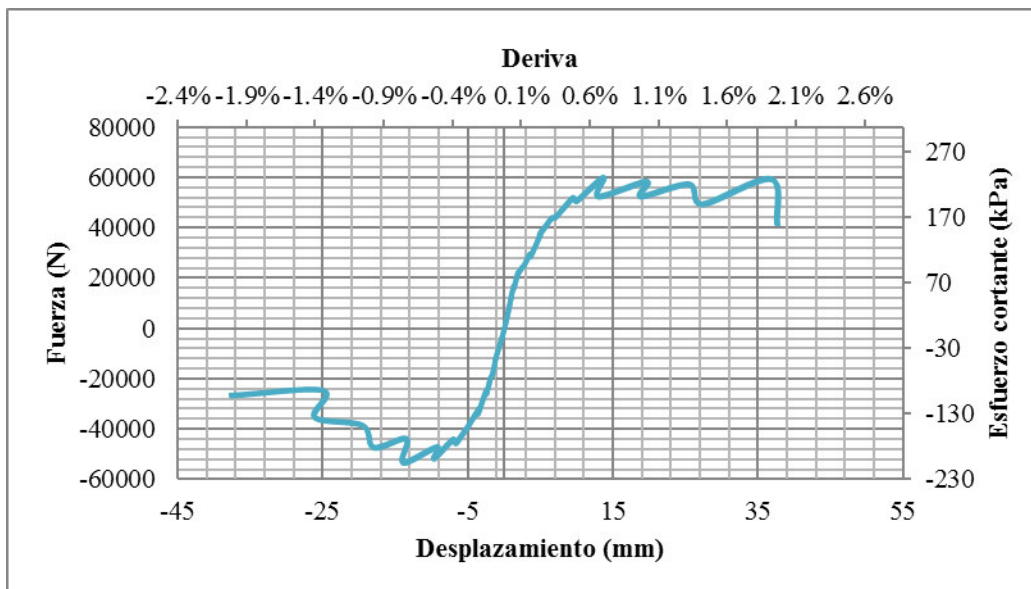
(d) Cordón discontinuo de adhesivo de poliuretano

Se observa falla en las unidades de los extremos del muro como se muestra en el detalle (b). Adicionalmente, se presenta desplazamiento relativo entre algunas piezas de fachada ventilada, al finalizar el ensayo se retiraron las piezas, encontrando que existieron problemas de preparación de superficie antes de aplicar el adhesivo de poliuretano de Sika. Asimismo, se evidencia en el detalle (c) que el cordón aplicado fue insuficiente para soportar el peso de las piezas.

MURO M15-D-FA**Fotografía 7-39 Montaje e instrumentación del muro M15-D-FA****DESCRIPCIÓN**

M15-D-FA	Muro no estructural de mampostería.
Tipo de fachada	Fachada adherida
Tipo de anclaje del sistema al muro	Pernos de expansión

RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-39 Curva de histéresis del muro M15-D-FA**ENVOLVENTE DE LA RESPUESTA HISTERÉTICA****Gráfica 7-40 Envoltorio de los ciclos de histéresis del muro M15-D-FA**

Las gráficas muestran que hasta una deriva del 0.4% se presenta un comportamiento lineal elástico y que a partir de ese punto el efecto de carga y descarga disminuye la rigidez del muro hasta que este pierde capacidad. La carga máxima alcanzada fue

59665 N, que corresponde a una deriva de 0.7%.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-40 Detalles de la falla del muro M15-D-FA



(a) Detalle de la falla escalonada en la cara posterior del muro



(b) Detalle de discontinuidades del adhesivo de sika

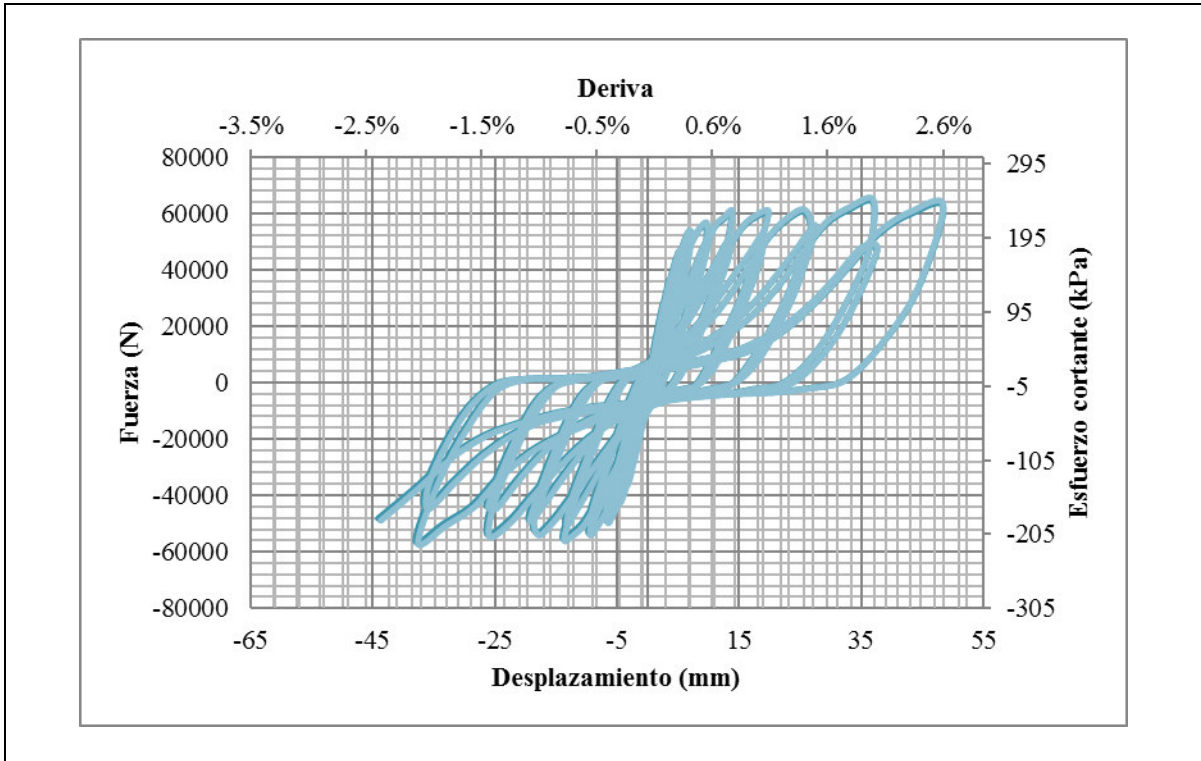
Se observa la falla típica escalonada de los muros de mampostería. Adicionalmente, se evidencian algunos problemas de aplicación del adhesivo, pero estos no son representativos, ya que las piezas de fachada ventilada no fallan, ni presentan desplazamientos relativos durante el ensayo.

MURO M16-D-FA

Fotografía 7-41 Montaje e instrumentación del muro M16-D-FA**DESCRIPCIÓN**

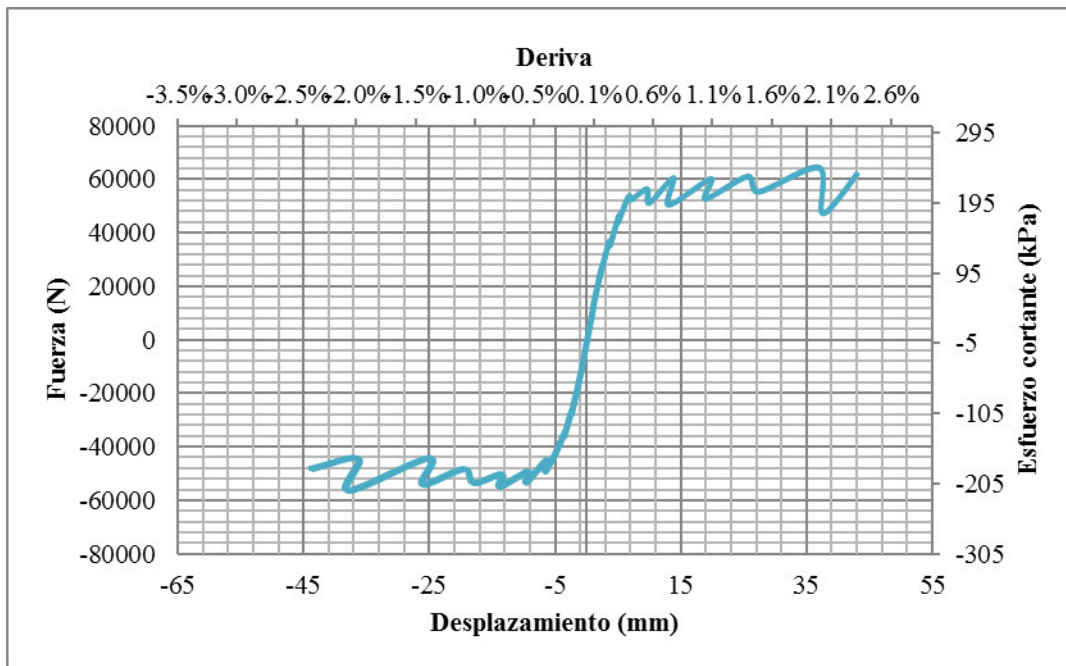
M16-D-FA	Muro no estructural de mampostería.
Tipo de fachada	Fachada adherida
Tipo de anclaje del sistema al muro	Pernos de expansión

RESPUESTA HISTERÉTICA**Gráfica 7-41 Curva de histéresis del muro M16-D-FA**



ENVOLVENTE DE LA RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-42 Envoltorio de los ciclos de histéresis del muro M16-D-FA



La deriva máxima alcanzada durante el ensayo fue 2,3%, que corresponde a un desplazamiento de 44.19 mm. La carga máxima fue 63916 N y se presentó cuando se tenía una deriva de 1.9%

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA**Fotografía 7-42 Detalles de la falla del muro M16-D-FA**

(a) Falla escalonada en la cara posterior del muro



(b) Aplastamiento zona de compresión-tensión.



(c) Deficiencias de continuidad del adhesivo

Durante el ensayo del muro de mampostería se observa la falla típica escalonada como se muestra en el detalle (a). Adicionalmente, se evidencia en el detalle (b), falla en los extremos del muro en la zona de tensión-compresión. El detalle (c) muestra algunos problemas de aplicación del adhesivo de poliuretano.

MURO M17-D-FA

Fotografía 7-43 Montaje e instrumentación del muro M17-D-FA

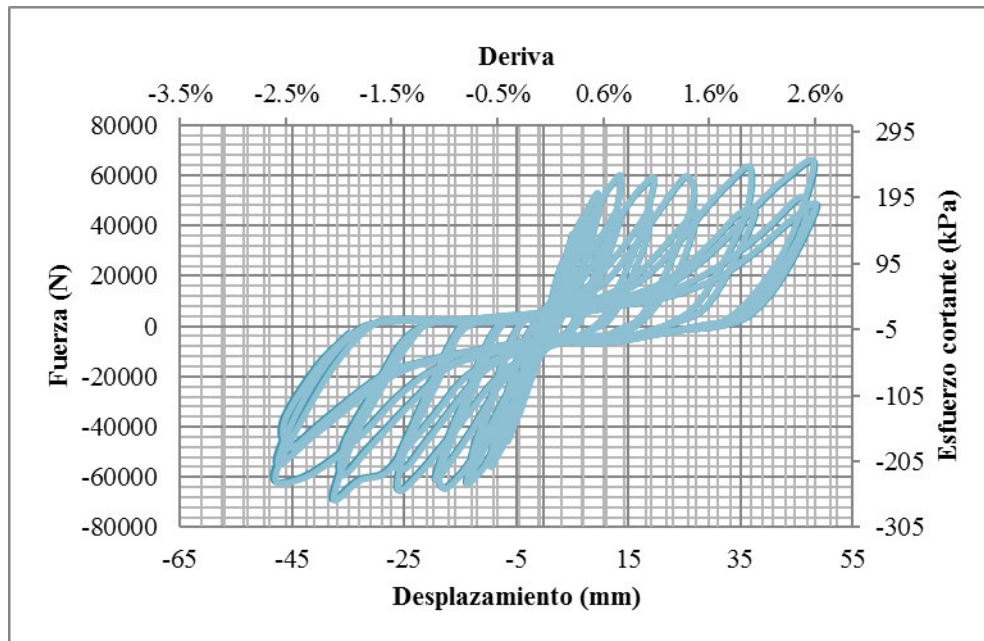


DESCRIPCIÓN

M17-D-FA	Muro no estructural de mampostería.
Tipo de fachada	Fachada adherida
Tipo de anclaje del sistema al muro	Pernos de expansión

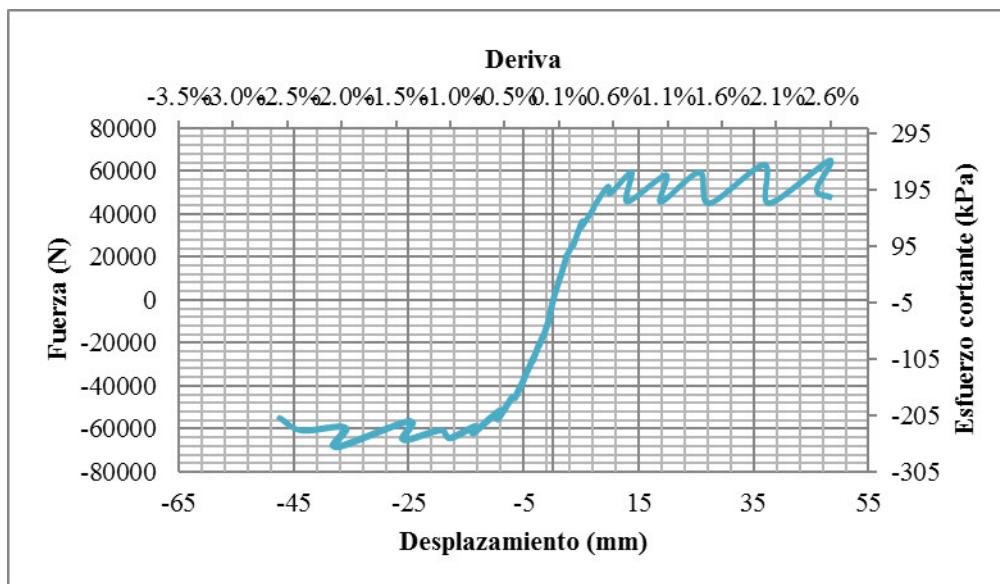
RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-43 Curva de histéresis del muro M17-D-FA



ENVOLVENTE DE LA RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-44 Envoltorio de los ciclos de histéresis del muro M17-D-FA



En la Gráfica 7-44 se evidencia que el rango lineal-elástico se presenta hasta una deriva del 0.4%. Desde ese punto los ciclos de carga y descarga disminuyen la rigidez del muro hasta que se llega a la máxima deriva de 2.6%. La carga máxima alcanzada fue 68086 N.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-44 Detalles de la falla del muro M17-D-FA



(a) Vista de la falla escalonada en la cara posterior del muro



(b) Aplastamiento en la zona de tensión-compresión del muro



(c) Desplazamiento de uno de los perfiles de soporte

Se observa en el detalle (a) la falla típica escalonada de los muros de mampostería. Adicionalmente, se evidencia en el detalle (b) falla en las zonas de tensión y compresión, así como el movimiento de uno de los perfiles, ya que una de las conexiones de los ángulos al muro coincidió con la pega y al presentarse la falla escalonada por las pegas, dicha conexión permitió el desplazamiento del perfil, como se observa el detalle (c).

MURO M18-D-QFA

Fotografía 7-45 Montaje e instrumentación del muro M18-D-QFA

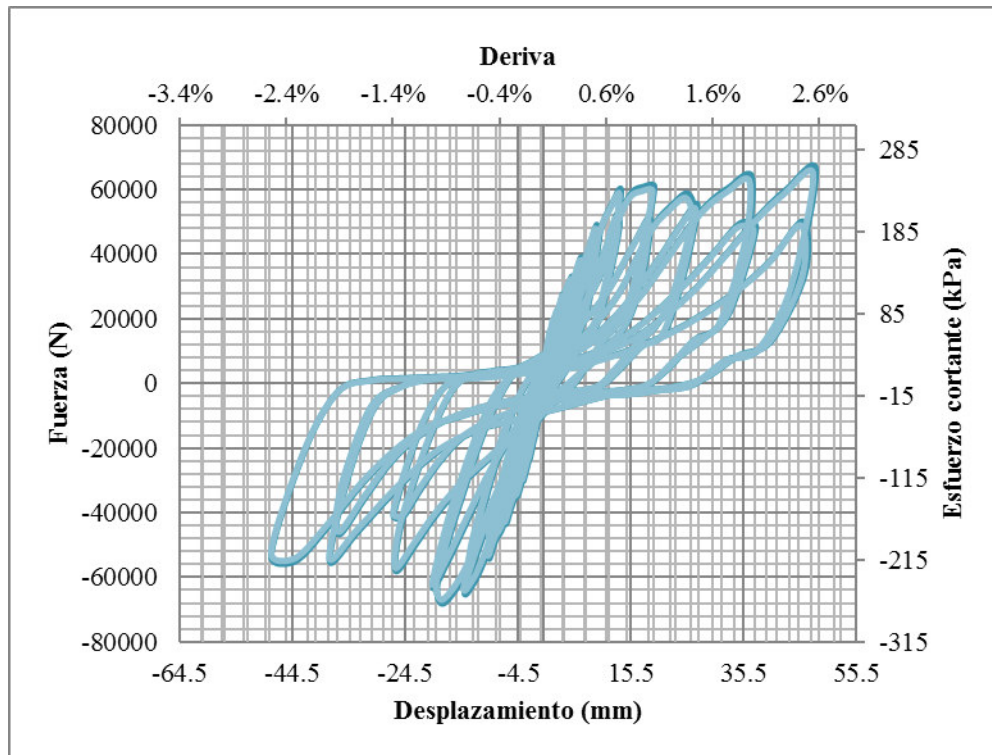


DESCRIPCIÓN

M18-D-QFA	Muro no estructural de mampostería.
Tipo de fachada	Fachada adherida
Tipo de anclaje del sistema al muro	Anclaje químico

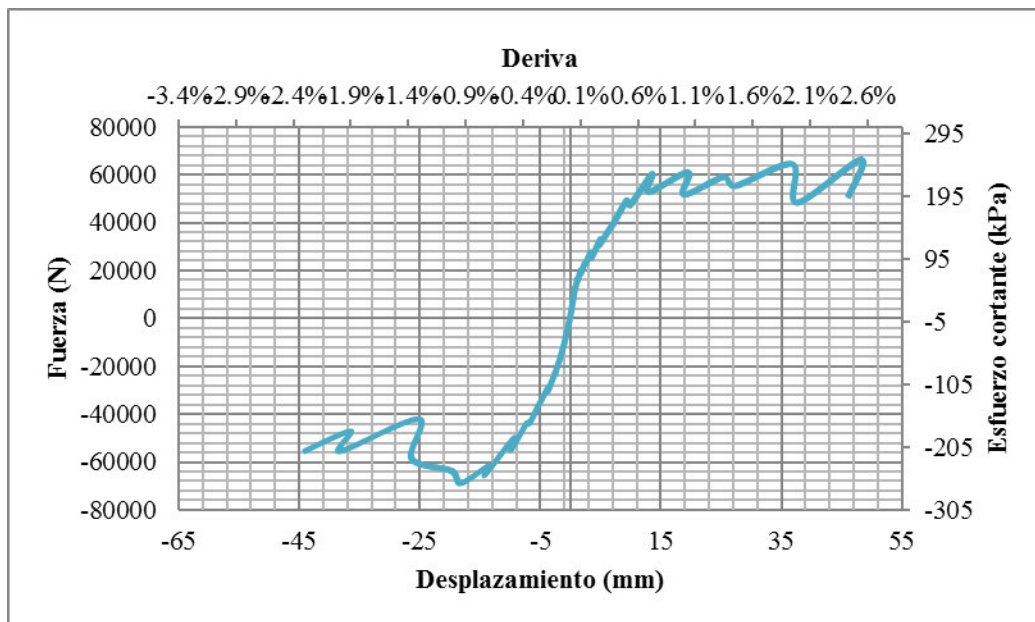
RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-45 Curva de histéresis del muro M18-D-QFA



ENVOLVENTE DE LA RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-46 Envoltura de los ciclos de histéresis del muro M18-D-QFA



La deriva máxima alcanzada fue 2.5% que corresponde a un desplazamiento de 48. mm.

La carga máxima fue 68300 N cuando se tenía una deriva de 2%

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-46 Detalles de la falla del muro M18-D-QFA



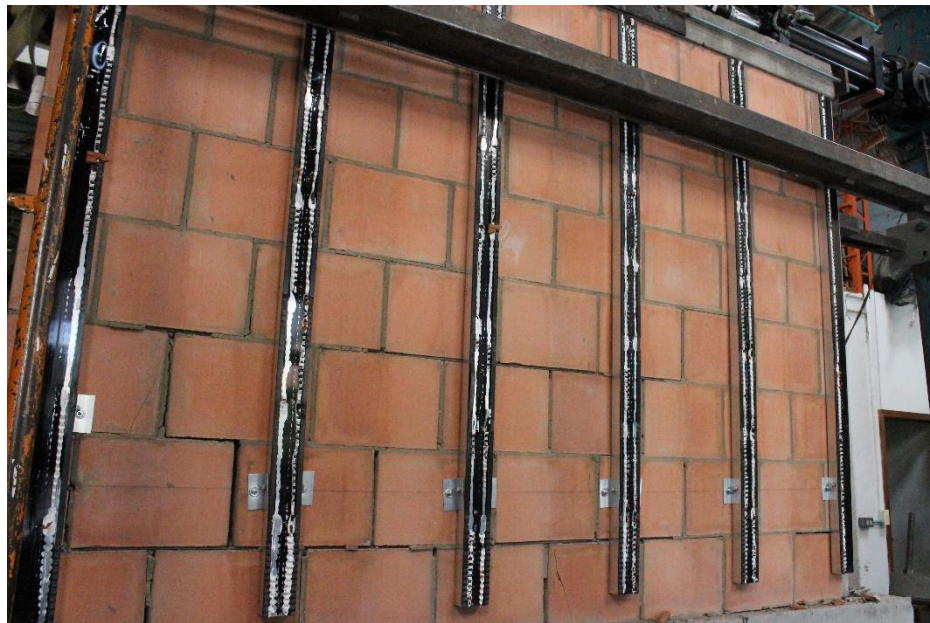
(a) Vista de la falla escalonada en la cara posterior del muro



(b) Aplastamiento y desintegración de la unidad de arcilla en la zona de compresión y de tensión



(c) Desplazamiento de uno de los perfiles de soporte



(d) Detalles del adhesivo de poliuretano después del ensayo y desprender las unidades de fachada

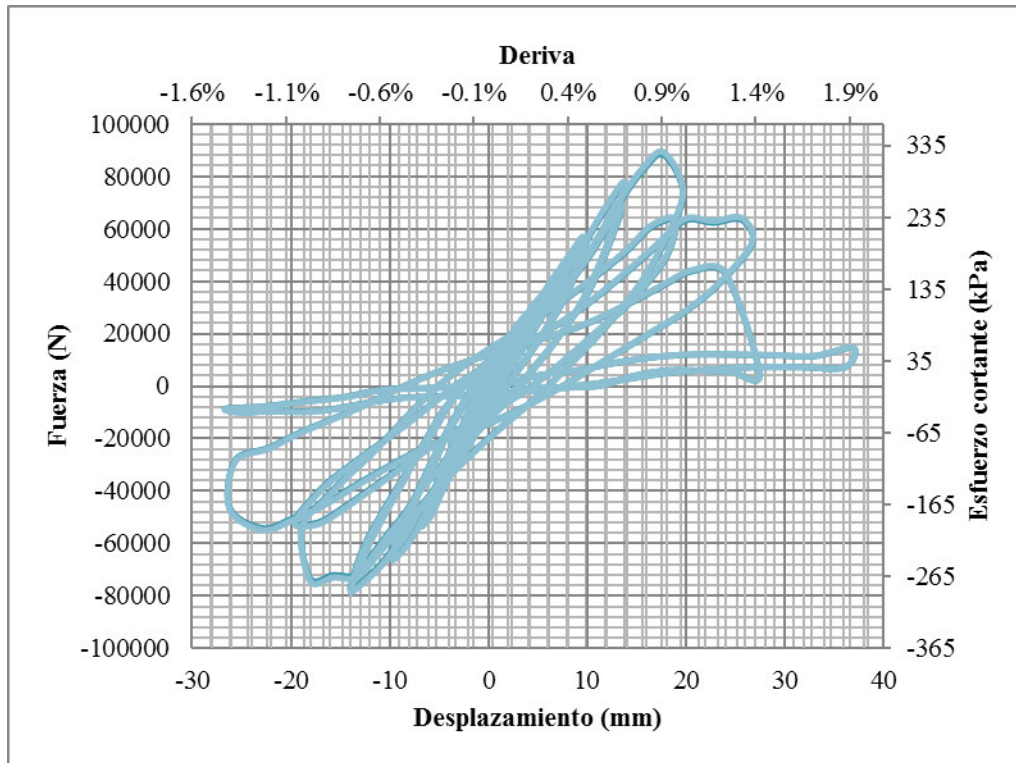
Durante el ensayo del muro se observa la falla escalonada del muro. Adicionalmente, se evidencia falla en los extremos del muro, en las zonas de tensión y compresión. Asimismo, se presentó desplazamiento de uno de los perfiles de soporte, ya que los ángulos son conexiones rígidas y al presentarse falla escalonada el perfil sufre desgarramiento y se desplaza. Finalmente, se encontró que en este muro todos los cordones de adhesivo de poliuretano presentaban continuidad.

MUROS DE CONCRETO**MURO C4-D-SF****Fotografía 7-47 Montaje e instrumentación del muro C4-D-SF****DESCRIPCIÓN**

C4-D-SF	Muro no estructural de concreto.
Tipo de fachada	Sin fachada ventilada

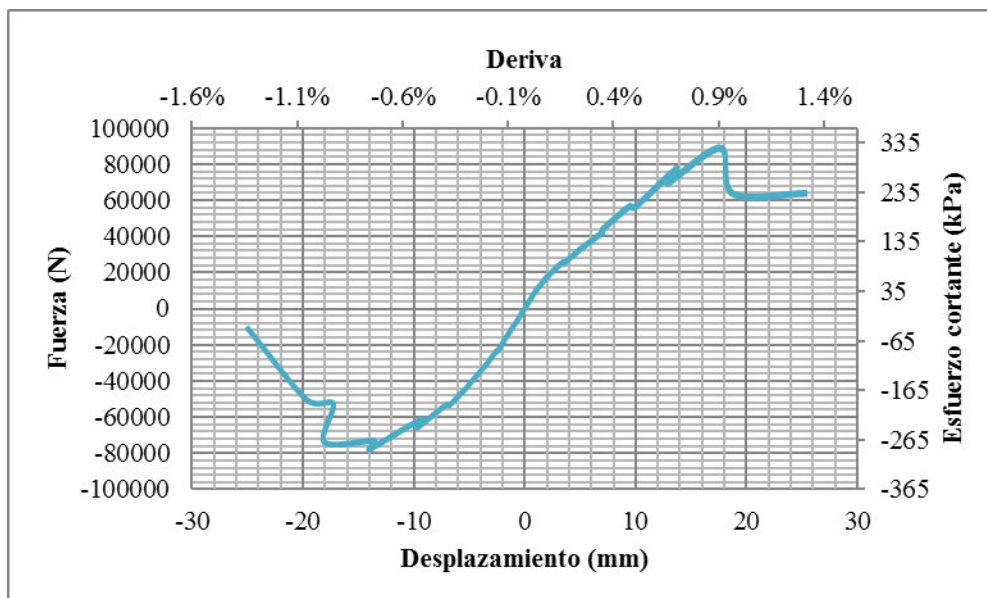
RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-47 Curva de histéresis del muro C4-D-SF



ENVOLVENTE DE LA RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-48 Envolvente de los ciclos de histéresis del muro C4-D-SF



La Gráfica 7-48 describe un comportamiento lineal-elástico hasta una deriva e aproximadamente de 0.5%. A partir de este punto el comportamiento es inelástico y los ciclos de carga y descarga disminuyen la rigidez del muro hasta que este pierde su capacidad. La carga máxima alcanzada fue 88204 N, que corresponde a una deriva de 0.9%.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-48 Detalles de la falla del muro C4-D-SF



(a) Falla en la base del muro por ineficiencia en el anclaje muro-viga.

Durante el ensayo del muro de concreto se presenta ineficiencia del anclaje del muro a la viga de soporte como se muestra en el detalle (a).

MURO C5-D-SF

Fotografía 7-49 Montaje e instrumentación del muro C5-D-SF

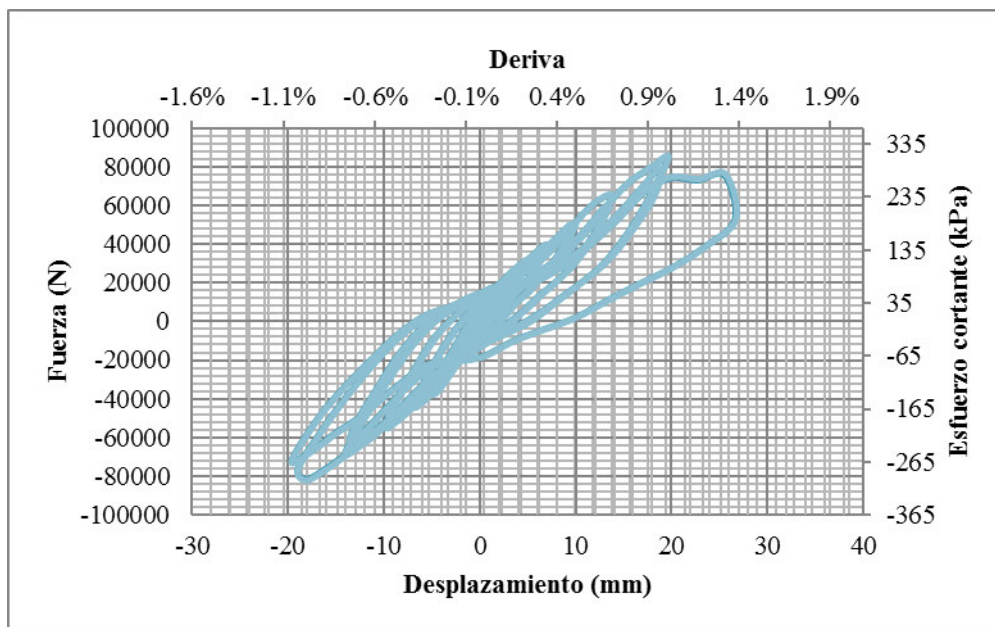


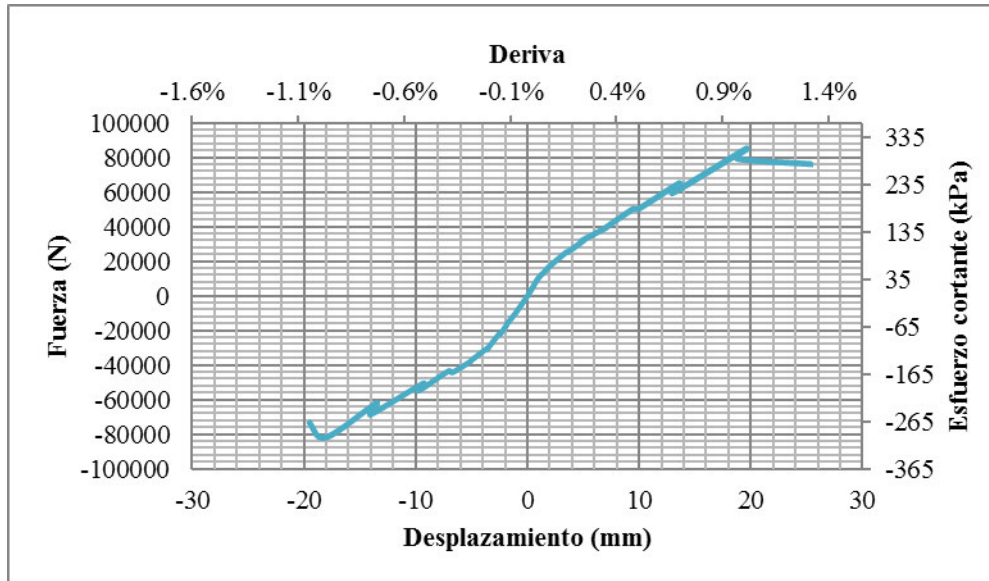
DESCRIPCIÓN

C5-D-SF	Muro no estructural de concreto.
Tipo de fachada	Sin fachada ventilada

RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-49 Curva de histéresis del muro C5-D-SF



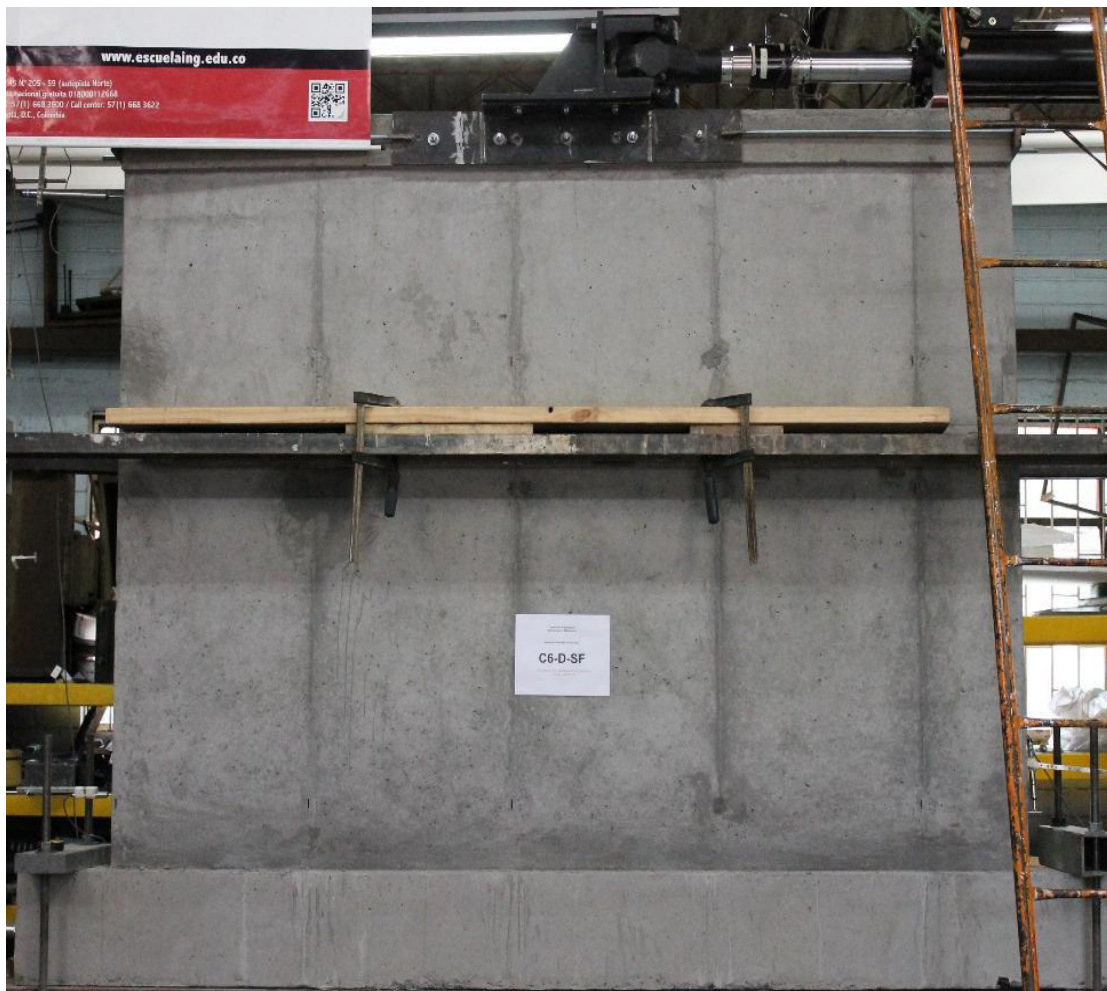
ENVOLVENTE DE LA RESPUESTA HISTERÉTICA**Gráfica 7-50 Envolvente de los ciclos de histéresis del muro C5-D-SF**

La deriva máxima alcanzada en el ensayo de este muro fue del 1,0% que corresponde a un desplazamiento de 25,54mm. La carga máxima fue 84454 N para la misma deriva.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA**Fotografía 7-50 Detalles de la falla del muro C5-D-SF**

(a) Falla en la base del muro por ineficiencia en el anclaje muro-viga.

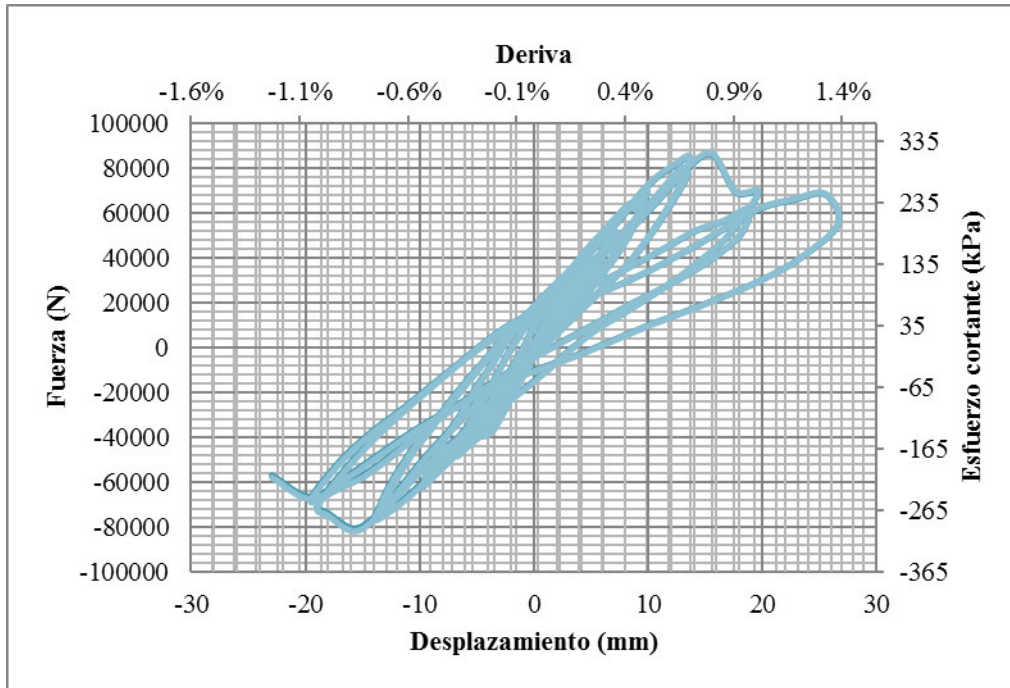
Durante el ensayo del muro de concreto se presenta ineficiencia del anclaje del muro a la viga de soporte como se muestra en el detalle (a).

MURO C6-D-SF**Fotografía 7-51 Montaje e instrumentación del muro C6-D-SF****DESCRIPCIÓN**

C6-D-SF	Muro no estructural de concreto.
Tipo de fachada	Sin fachada ventilada

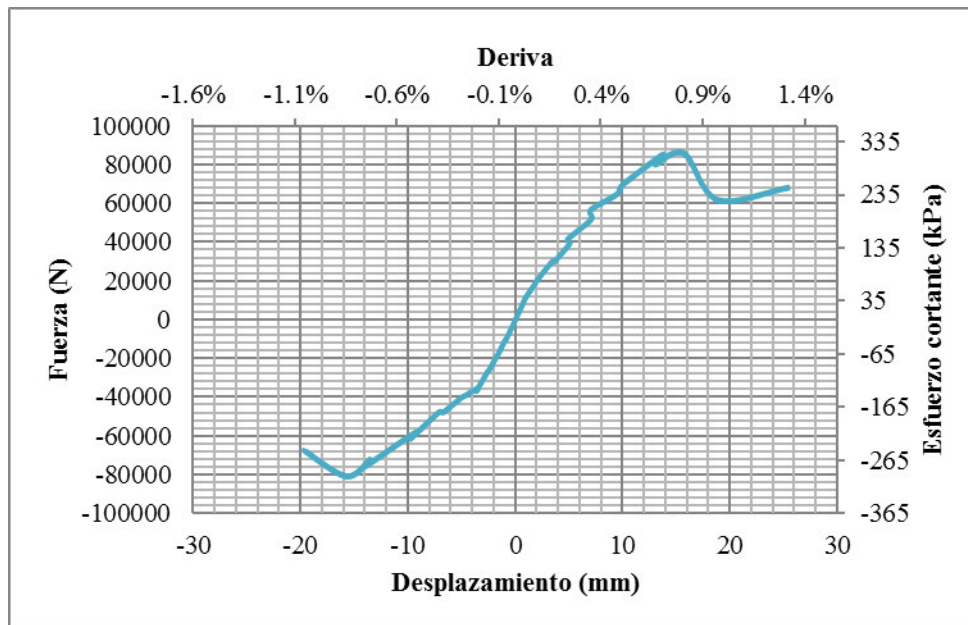
RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-51 Curva de histéresis del muro C6-D-SF



ENVOLVENTE DE LA RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-52 Envoltorio de los ciclos de histéresis del muro C6-D-SF



EL desplazamiento máximo que se presentó durante el ensayo fue de 19,67 mm que corresponde a una deriva del 2%. La carga máxima 85418 N se registró para una deriva del 0.8%.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-52 Detalles de la falla del muro C6-D-SF



(a) Falla en la base del muro por ineficiencia en el anclaje muro-viga.

Durante el ensayo del muro de concreto se presenta ineficiencia del anclaje del muro a la viga de soporte como se muestra en el detalle (a).

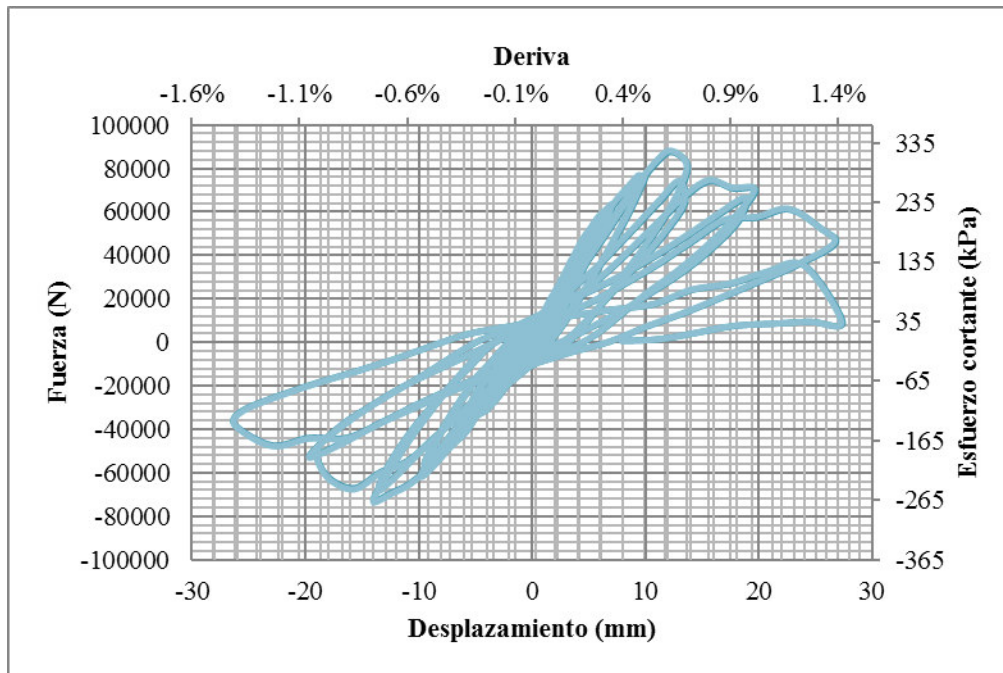
MURO C11-D-FA**Fotografía 7-53 Montaje e instrumentación del muro C11-D-FA****DESCRIPCIÓN**

C11-D-FA	Muro no estructural de concreto.
Tipo de fachada	Fachada adherida
Tipo de anclaje del sistema al muro	Pernos de expansión

RESPUESTA HISTERÉTICA

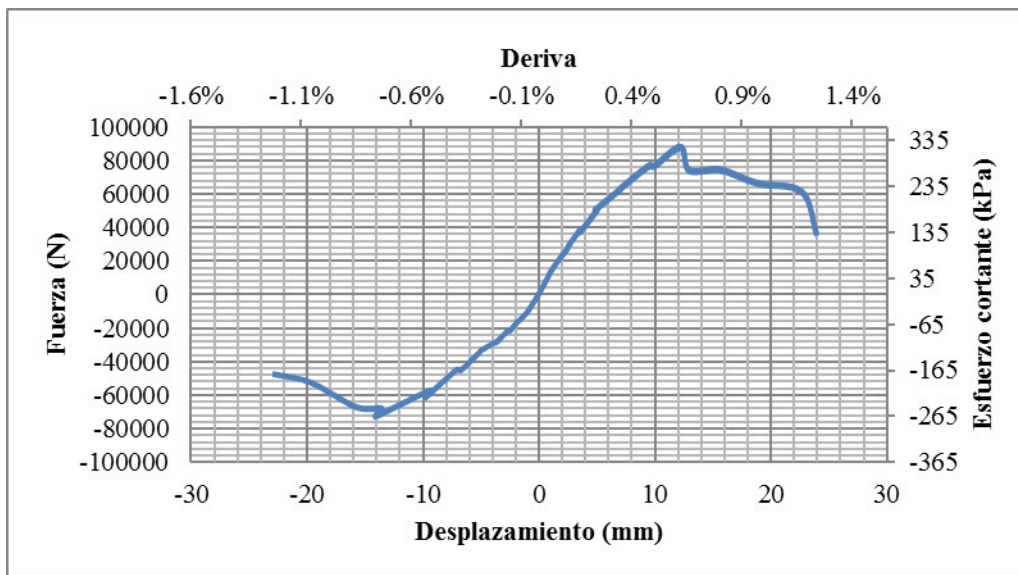
--	--

Gráfica 7-53 Curva de histéresis del muro C11-D-FA



ENVOLVENTE DE LA RESPUESTA HISTERÉTICA

Gráfica 7-54 Envoltente de los ciclos de histéresis del muro C11-D-FA



La deriva máxima alcanzada fue 1.3% que corresponde a un desplazamiento de 24 mm. La carga máxima alcanzada fue 87374 N cuando se tenía una deriva de 0.6%.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-54 Detalles de la falla del muro C11-D-FA

(a) Falla en la base del muro por ineficiencia en el anclaje muro-viga.

Durante el ensayo del muro de concreto se presenta ineficiencia del anclaje del muro a la viga de soporte como se muestra en el detalle (a). Esto no permite que se evalúe el comportamiento de la fachada.

I. Anexo: Resultado ensayos de succión entre muros y fachada

MURO C9-S-FA**Fotografía 7-55 Montaje e instrumentación del muro C9-S-FA****DESCRIPCIÓN**

C9-S-FA	Muro no estructural de concreto.
Tipo de fachada	Fachada adherida
Tipo de anclaje del sistema al muro	Pernos de expansión

CARGA MÁXIMA0.175 kg/cm²**DESCRIPCIÓN DE LA FALLA**

Fotografía 7-56 Detalles de la falla del muro C9-S-FA



(a) Falla de la fachada adherida

Durante el ensayo las piezas de fachada de arcilla se rompen en el centro debido a la presión ejercida por las bolsas de aire y comienzan a caer hasta que se presenta la falla completa de la fachada.

MURO C10-S-FA

Fotografía 7-57 Montaje e instrumentación del muro C10-S-FA**DESCRIPCIÓN**

C10-S-FA	Muro no estructural de concreto.
Tipo de fachada	Fachada adherida
Tipo de anclaje del sistema al muro	Pernos de expansión

CARGA MÁXIMA0.07 kg/cm²**DESCRIPCIÓN DE LA FALLA****Fotografía 7-58 Detalles de la falla del muro C10-S-FA**



(a) Falla de la fachada adherida

Durante el ensayo las piezas de fachada de arcilla se rompen en el centro debido a la presión ejercida por las bolsas de aire. Cabe resaltar que el adhesivo de poliuretano se opone a la presión ejercida manteniendo las piezas adheridas hasta que la falla es inevitable.

MURO C12-S-FT

Fotografía 7-59 Montaje e instrumentación del muro C12-S-FT**DESCRIPCIÓN**

C12-S-FT	Muro no estructural de concreto.
Tipo de fachada	Fachada con tronillo
Tipo de anclaje del sistema al muro	Pernos de expansión

CARGA MÁXIMA0.07 kg/cm²**DESCRIPCIÓN DE LA FALLA****Fotografía 7-60 Detalles de la falla del muro C12-S-FT**



(a) Falla de la fachada con tornillo



(b) Detalle de la conexión después del ensayo

Durante el ensayo las piezas de arcilla de la fachada fallan súbitamente, debido a la rigidez de la conexión y la presión ejercida. El detalle (b) evidencia que la conexión no sufre ningún daño, sino que la pieza es la que se debilita en este punto y se desprende.

MURO C13-S-FTS

Fotografía 7-61 Montaje e instrumentación del muro C13-S-FTS**DESCRIPCIÓN**

C13-S-FTS	Muro no estructural de concreto.
Tipo de fachada	Fachada con tronillo y punto de sika
Tipo de anclaje del sistema al muro	Pernos de expansión

CARGA MÁXIMA0.07 kg/cm²**DESCRIPCIÓN DE LA FALLA****Fotografía 7-62 Detalles de la falla del muro C13-S-FTS**



(a) Falla de la fachada con tornillo

Durante el ensayo las piezas fallan súbitamente, debido a la rigidez de la conexión y la presión ejercida. La conexión no sufre ningún daño, sino que la pieza de fachada en arcilla es la que se debilita en este punto y se desprende.

MURO C14-S-FA

Fotografía 7-63 Montaje e instrumentación del muro C14-S-FA



DESCRIPCIÓN

C14-S-FA	Muro no estructural de concreto.
Tipo de fachada	Fachada adherida
Tipo de anclaje del sistema al muro	Pernos de expansión

CARGA MÁXIMA

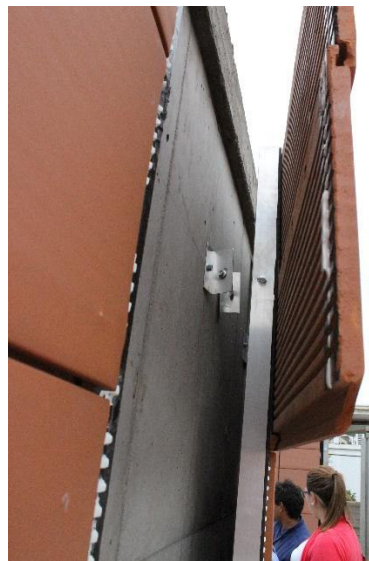
0.07 kg/cm²

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-64 Detalles de la falla del muro C14-S-FA



(a) Falla de la fachada adherida



(b) Desplazamiento del perfil de soporte

Durante el ensayo las piezas de arcilla de fachada se rompen en el centro debido a la presión ejercida por las bolsas de aire. Cabe resaltar que el adhesivo de poliuretano se opone a la presión ejercida manteniendo las piezas adheridas hasta que la falla es inevitable. En este caso adicional a la falla de las piezas se evidencia en el detalle (b) el desplazamiento del perfil de soporte debido al desgarramiento del mismo.

MURO C15-S-FT**Fotografía 7-65 Montaje e instrumentación del muro C15-S-FT****DESCRIPCIÓN**

C15-S-FT	Muro no estructural de concreto.
Tipo de fachada	Fachada con tronillo
Tipo de anclaje del sistema al muro	Pernos de expansión

CARGA MÁXIMA0.07 kg/cm²**DESCRIPCIÓN DE LA FALLA****Fotografía 7-66 Detalles de la falla del muro C15-S-FT**



(a) Desprendimiento de las unidades de la fachada con tornillo



(b) Detalle de falla de la conexión de las unidades de arcilla de fachada después del ensayo

Durante el ensayo las piezas fallan súbitamente, debido a la rigidez de la conexión y la presión ejercida. El detalle (b) evidencia que la conexión no sufre ningún daño, sino que la pieza es la que se debilita en este punto y se desprende.

MURO M20-S-FA

Fotografía 7-67 Montaje e instrumentación del muro M20-S-FA



DESCRIPCIÓN

M20-S-FA	Muro no estructural de mampostería
Tipo de fachada	Fachada adherida
Tipo de anclaje del sistema al muro	Anclajes químicos

CARGA MÁXIMA

0.126 kg/cm²

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA

Fotografía 7-68 Detalles de la falla del muro M20-S-FA



(a) Falla de los elementos de la fachada adherida



(b) Desplazamiento del perfil de soporte

Durante el ensayo las piezas se fisuran debido a la presión ejercida por las bolsas de aire. Cabe resaltar que el adhesivo de poliuretano se opone a la presión ejercida manteniendo las piezas adheridas hasta que la falla es inevitable. En este caso adicional a la falla de las piezas se evidencia en el detalle (b) el desplazamiento del perfil de soporte debido al desgarramiento del mismo.

MURO M21-S-FA**Fotografía 7-69 Montaje e instrumentación del muro M21-S-FA****DESCRIPCIÓN**

M21-S-FA	Muro no estructural de mampostería
Tipo de fachada	Fachada adherida
Tipo de anclaje del sistema al muro	Anclajes químicos

CARGA MÁXIMA0.126 kg/cm²**DESCRIPCIÓN DE LA FALLA****Fotografía 7-70 Detalles de la falla del muro M21-S-FA**



(a) Falla de la fachada adherida


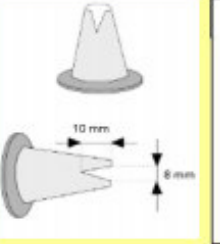

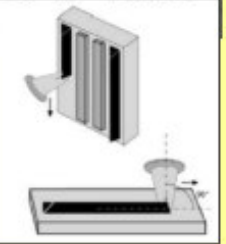


(b) Falla del perfil de soporte



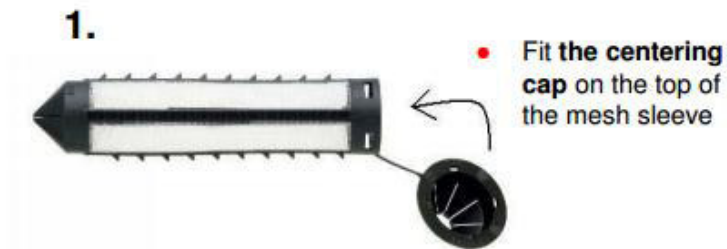
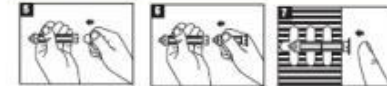
Durante el ensayo las piezas de arcilla de fachada se rompen debido a la presión ejercida por las bolsas de aire. Cabe resaltar que el adhesivo de poliuretano se opone a la presión ejercida manteniendo las piezas adheridas hasta que la falla es inevitable. En este caso adicional a la falla de las piezas se evidencia en el detalle (b) el desplazamiento del perfil de soporte debido al desgarramiento del mismo. Adicionalmente, el perfil se estrangula separándose 93 cm del muro de apoyo.

J. Anexo: Proceso De Instalación Sikaflex-252

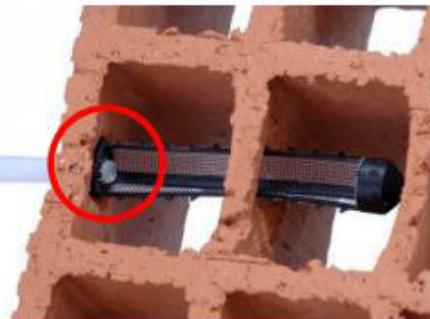
		<p style="text-align: center;">LIMPIEZA SUPERFICIE Y ELEMENTO DECORATIVO</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se recomienda hacer una limpieza suave con un Scotch Brite. Eliminar polvo grasas y residuos 2. En piezas metálicas, pasar un paño empapado con SikaActivator en una sola dirección. Esperar 15 minutos <p>Nota: El uso de SikaActivator para la limpieza depende del tipo de materiales a limpiar. Asesoría del departamento tecnico de Sika es necesario.</p>
		<p style="text-align: center;">IMPRIMACION SUPERFICIE Y ELEMENTO DECORATIVO</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Despues de tener la superficie limpia se aplica SikaPrimer 206 G+P 2. La aplicación de SikaPrimer 206 G+P se hace unicamente en las zonas por donde se va aplicar el cordón adhesivo. Con una brocha de 1.5 pulgadas <p>Nota: El numero de cordones esta dado por el tamaño de elemento a pegar y su respectivo peso y su formato. Siempre cordones verticales, separados máximo a 60cm Asesoría del departamento tecnico de Sika es necesario.</p>
		<p style="text-align: center;">INSTALACION CINTA SIKAFIXING TAPE</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Despues de esperar 15 minutos de secado del SikaPrimer 206 G+P se coloca la cinta SikaTack Panel Fixing Tape en las zonas imprimadas. Aun no se debe retirar el papel protector de la cinta. <p>Nota: La cinta se debe colocar igual al numero de cordones de diseño. Asesoría del departamento tecnico de Sika es necesario.</p>
 	 	<p style="text-align: center;">APLICACIÓN ADHESIVO ESTRUCTURAL SIKAFLEX 252</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La aplicación del adhesivo se debe hacer con un corte de boquilla en forma triangular de 8mm de base x 10 mm de altura. 2. La pistola debe orientarse siempre perpendicular a la superficie (90°) 2. La aplicación se hace a 5 mm de la cinta Sika Fixing Tape 3. La aplicación se debe realizar en la totalidad de la longitud del panel a pegar. Se puede dejar un espacio de 1 cm en el borde superior e inferior. <p>Nota: El tiempo abierto de trabajo del adhesivo es de 15 a 20 minutos, despues de pasado este tiempo es necesario retirar el adhesivo y hacer todo el procedimiento nuevamente. Nota: Asesoría del departamento de Sika es necesario.</p>
		<p style="text-align: center;">COLOCACION ELEMENTO DECORATIVO</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Retirar el papel protector de la cinta y colocar el elemento decorativo sobre la superficie con adhesivo. 2. Oprimir el panel sobre la superficie base. <p>Nota: Tener en cuenta el uso de dilatadores de acuerdo a la junta diseñada.</p>

K. Anexo: Proceso de Instalación Anclajes Químicos Hilti

How to use in hollow brick...



- **Insert the sleeve** (sleeve combination) into the cleaned hole

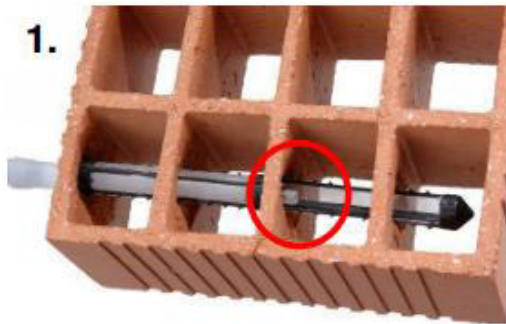


- Always fill the sleeves **from the centering cap**



- Due to the optimized net the mortar **does not flow into the hollow brick**. When the sleeve is full the **mortar flows out of the openings**

How to use in hollow brick...



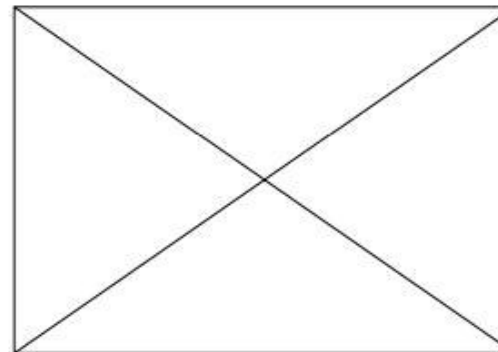
- When using a combination of sleeves, press the mixer through the centering cap and bottom of the outer sleeve into the inner sleeve and fill it up first



- When the inner sleeve is full, fill up the outer sleeve from the centering cap



- When the mortar is injected, press in the rod. The rod will press out the mortar from the sleeve



- Animation showing the installation procedure in hollow brick (does not work in the compass version)

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alibaba, H. Z., & Ozdeniz, M. B. (n.d.). Energy Performance and Thermal Comfort of Double-Skin and Single-Skin Facades in Warm-Climate Offices. <http://doi.org/10.3130/jaabe.15.635>
- Aksamija, A. (2009). CONTEXT BASED DESIGN OF DOUBLE SKIN FACADES.
- ASTM C1242 – 15a Standard Guide for Selection, Design, and Installation of Dimension Stone Attachment Systems 1. (n.d.). <http://doi.org/10.1520/C1242-15A>
- Balocco, C. (2002). A simple model to study ventilated facades energy performance. Energy and Buildings. [http://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00130-X](http://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00130-X)
- Barabash, A., Naumova, E., Zhuvak, O., Nemova, D., & Olshevskiy, V. (2016). The Efficiency of the Ventilated Gap of the Double-Skin Facade Systems Using Fire Crosscuts.
- Bernat-Maso, E., Gil, L., Roca, P., Sarrablo, V., & Escrig, C. (2013). Structural characterisation of textile ceramic technology used as a curtain wall. Engineering Structures. <http://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.09.018>
- Ciampi, M., Leccese, F., & Tuoni, G. (2003). Ventilated facades energy performance in summer cooling of buildings. Solar Energy. <http://doi.org/10.1016/j.solener.2003.09.010>
- Ciupack, Yvonne; Pasternak, Hartmut; Schiel, Manuel; Ince, E. (2014). Adhesive bonded joints in steel structures. [http://doi.org/DOI: 10.1002/stco.201410029](http://doi.org/DOI:10.1002/stco.201410029)
- De Blas, R., González, C., Iglesias, S., & Tudela, A. (2012). El pegado elástico en fachadas trasventiladas de piedra.
- Del Río, M. C. (2008). Sistema “estructura” para fachadas de ladrillo cara vista.
- D’Orazio, M., Lenci, S., & Graziani, L. (2014). Relationship between fracture toughness and porosity of clay brick panels used in ventilated facades: Initial investigation. Engineering Fracture Mechanics. <http://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2013.12.003>

- Fu, T. S., Asce, M., Zhang, R., & Asce, S. M. (2016). Integrating Double-Skin Façades and Mass Dampers for Structural Safety and Energy Efficiency. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000218](http://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000218)
- Guillen, I., Uris, A., Estelles, H., Llinares, J., & Llopis, A. (2008). On the sound insulation of masonry wall façades. *Building and Environment*. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.010>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2003a). *Concretos. Métodos de ensayo para determinar la evaluación en laboratorio y en obra, de morteros para unidades de mampostería simple y reforzada (NTC 3546)*. Bogotá D.C.: ICONTEC.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2003b). *Método de ensayo para determinar la Resistencia a la compresión de muretes de mampostería (NTC 3495)*. Bogotá D.C.: ICONTEC.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2005). *Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla (NTC 4017)*. Bogotá, D.C.: ICONTEC.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2010). *Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto (NTC 673)*. Bogotá D.C.: ICONTEC.
- Irulegi O., Serra A., Hernández R., Ruiz Pardo A., T. L. (2012). *Fachadas ventiladas activas para reducir la demanda de calefacción en los edificios de oficinas. El caso de España ; Ventilated active façades*
- Ivorra, S., García-Barba, J., Mateo, M., Pérez-Carramiñana, C., & Maciá, A. (2013). Partial collapse of a ventilated stone façade: Diagnosis and analysis of the anchorage system. *Engineering Failure Analysis*. <http://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.01.045>
- Liška, P., Šlanhof, J., & Nečasová, B. (2014). *Thermal Resistance of Bonded Facade Joints*.
- Liška, P., Šlanhof, J., & Nečasová, B. (2014). *Revitalization of Facade Cladding with the Use of Bonded Joints*. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1041.191>
- Liška, P., Šlanhof, J., Nečasová, B., & Kovářová, B. (2015). *Experimental Investigation of the Tensile Properties of Ventilated Facade Cladding with Bonded Joints*. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.824.50>
- Lucchini, A., Stefanazzi, A., & Parisi, M. A. (2013). *SEISMIC BEHAVIOR OF BUILDING FAÇADES*. *Int. Journal for Housing Science*, 37(1), 1–10.

- Ma Adell, Josep; Vega, S. (2005). La Fachada Contemporánea Con Ladrillo: Cerramientos tipo, 56, no 495.
- Mcfarquhar, D. (2012). The Role of the Building Façade – Curtain Walls.
- Meijs, M., Knaack, U., Klein, T., Bilow, M., Hasselbach, R., & Chung-Klatte, S. (2007). The following titles in the same series are under preparation: Components and Connections in Architecture – Principles of Construction Building Typologies in Architecture – Principles of Construction Materials in Architecture – Principles of Construction.
- Mosteiro, J. G., Acha, C., Javier, F., González, N., De, J., & Fontán, M. (2016). Arquitectura y energía fotovoltaica.
- Nečasová, B., Kovářová, B., Liška, P., & Šlanhof, J. (2015). Determination of adhesion of silyl modified polymer adhesives to wooden façade cladding - Case study. In Procedia Engineering. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.165>
- Nizovtsev, M. I., Belyi, V. T., & Sterlygov, A. N. (2014). The facade system with ventilated channels for thermal insulation of newly constructed and renovated buildings. Energy & Buildings, 75, 60–69. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.003>
- Pardal, C., & Paricio, I. (2006). Evolución de la fachada ventilada y propuesta de futuro.
- Paricio, I. (2006). La fachada ventilada con ladrillo cara vista.
- Pasternak, H., & Ciupack, Y. (2014). Development of Eurocode-based design rules for adhesive bonded joints. International Journal of Adhesion and Adhesives. <http://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2014.01.011>
- Pastor, E., Corberó, B., Rios, O., Giraldo, M. P., Haurie, L., Lacasta, A., Planas, E. (2015). Compartment and façade large scale tests: behavior comparison of different insulating materials in case of fire. Applications of Structural Fire Engineering, 15–16. <http://doi.org/10.14311/asfe.2015.069>
- Peci López, F., & Ruiz de Adana Santiago, M. (2015). Sensitivity study of an opaque ventilated façade in the winter season in different climate zones in Spain. Renewable Energy. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.031>
- Petrichenko, M., Musorina, T., Statsenko, E., Ostrovaia, A., & Tarasov, V. (2016). Functionality of Ventilated Facades: Protection of Insulation.
- Petrichenko, M., Musorina, T., Statsenko, E., Ostrovaia, A., & Tarasov, V. (2016). Functionality of Ventilated Facades: Protection of Insulation.
- Prieto, B., Sanmartín, P., Silva, C., Vázquez-Nion, D., & Silva, B. (2014). Deleterious effect plastic-based biocides on back-ventilated granite facades. International Biodeterioration and Biodegradation. <http://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.06.018>

- Silvestre, J. D., & De Brito, J. (2011). Ceramic tiling in building facades: Inspection and pathological characterization using an expert system. *Construction and Building Materials*. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.09.039>
- Sika Colombia S.A. (2012). *Manual de Productos 2012*. Sika at Work, (35), 12–15. Bogotá D.C.: Sika Colombia S.A.
- Stazi, F., Tomassoni, F., Vegliò, A., & Di Perna, C. (2011). Experimental evaluation of ventilated walls with an external clay cladding. *Renewable Energy*. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2011.05.016>
- Suárez, M. J., Sanjuan, C., Gutiérrez, A. J., Pistono, J., & Blanco, E. (2012). Energy evaluation of a horizontal open joint ventilated facade. *Applied Thermal Engineering*. <http://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.11.034>
- Theodosiou, T. G., Tsikaloudaki, A. G., Kontoleon, K. J., & Bikas, D. K. (2015). Thermal bridging analysis on cladding systems for building facades. *Energy and Buildings*. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.10.037>
- Tusnina, V. M. (2016). ScienceDirect To the problem of bearing capacity and operational reliability of suspended ventilated facade. *Procedia Engineering*, 153, 799–804. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.245>
- Vásquez, Claudio; Prieto, A. (2013). *La fachada ventilada*.