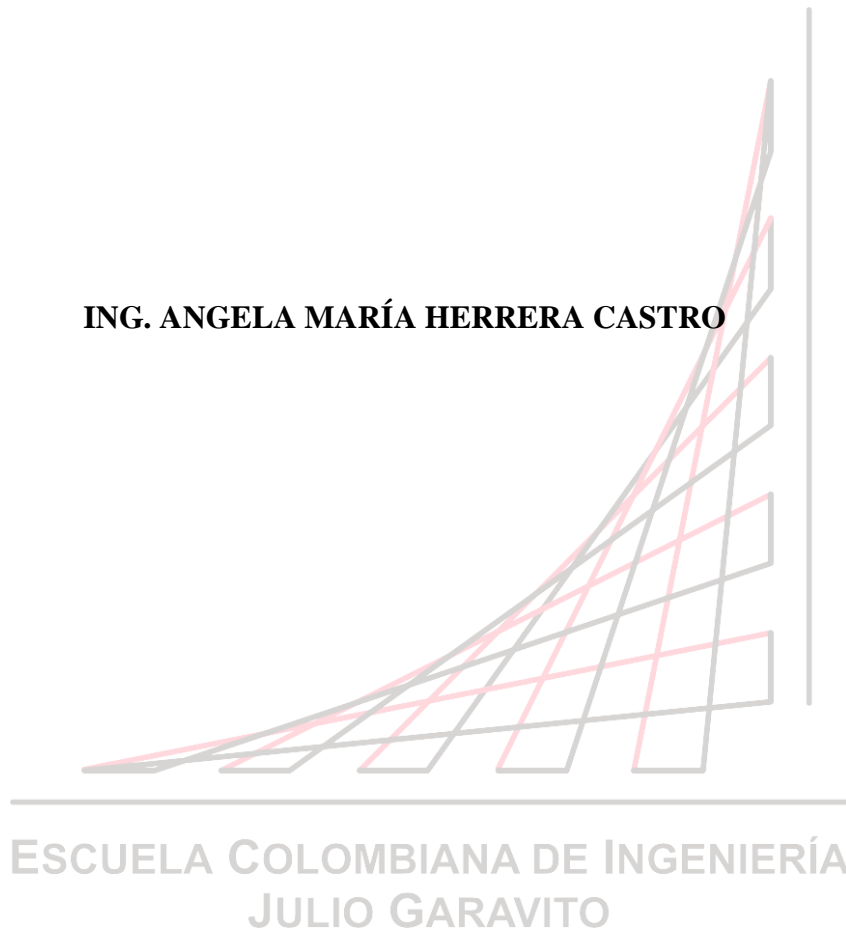


**COMPORTAMIENTO A CORTANTE DE MUROS DE MAMPOSTERÍA DE  
CONCRETO, REFORZADOS INTERNAMENTE CON BARRAS DE GFRP, SUJETOS  
A CARGAS EN EL PLANO**

**ING. ANGELA MARÍA HERRERA CASTRO**



**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON ÉNFASIS EN ESTRUCTURAS  
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA**

**2019**

**COMPORTAMIENTO A CORTANTE DE MUROS DE MAMPOSTERÍA DE  
CONCRETO, REFORZADOS INTERNAMENTE CON BARRAS DE GFRP, SUJETOS  
A CARGAS EN EL PLANO**

**Presentado por:**

**ING. ANGELA MARÍA HERRERA CASTRO**

**PROYECTO DE GRADO**

**Directora:**

**M.Sc, Ph.D., NANCY TORRES CASTELLANOS**

**Asesor:**

**M.Sc, Ph.D., GUSTAVO TUMIALÁN**

---

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA  
JULIO GARAVITO**

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON ÉNFASIS EN ESTRUCTURAS  
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA**

**2019**

Bogotá D.C., junio 5 de 2019

Señor:

**Ing. GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS**

Director Programa de Maestría en Ingeniería civil

Escuela Colombiana de Ingeniería

Ciudad

Ref.: Proyecto de Grado

Apreciado Ingeniero:

Por medio del siguiente documento me permito presentar el informe final del Proyecto de Grado del aspirante al título de Magíster en Estructuras, Angela María Herrera Castro con C.C. 1.032.439.677 de Bogotá, D.C., denominado “COMPORTAMIENTO A CORTANTE DE MUROS DE MAMPOSTERIA DE CONCRETO, REFORZADOS INTERNAMENTE CON BARRAS DE GFRP, SUJETOS A CARGAS EN EL PLANO”, que fue dirigido por la Ing. Nancy Torres Castellanos.

Atentamente,

---

Ing. Angela María Herrera Castro

## **NOTA DE ACEPTACIÓN:**

El Proyecto de Grado denominado “COMPORTAMIENTO A CORTANTE DE MUROS DE MAMPOSTERIA DE CONCRETO, REFORZADOS INTERNAMENTE CON BARRAS DE GFRP, SUJETOS A CARGAS EN EL PLANO” presentado por el Ing. Angela María Herrera Castro para optar al Título de Magíster en Ingeniería Civil con Énfasis en Estructuras otorgado por la Escuela Colombiana de Ingeniería, cumple con los requisitos establecidos y recibe nota aprobatoria.

---

Ing. Nancy Torres Castellanos

Directora de Proyecto

---

Ing. Jaime Garzón Erazo

Jurado 1

---

Ing. Carlos Palomino Arias

Jurado 2

---

Ing. Germán Ricardo Santos Granados

Director de Maestría en Ingeniería Civil

Bogotá D.C., junio 5 de 2019.



**DEDICATORIA**

Le dedico este gran logro a Dios, a mis padres, a mi hermano y a mi esposo, por su apoyo incondicional y su motivación para la culminación de este proyecto.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis más profundos y sinceros agradecimientos a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, la cual me ha brindado una formación integral debido a su gran cuerpo docente y a su plantel educativo. También por permitirme utilizar su planta física para la ejecución del proyecto de investigación.

A mi directora de tesis, la ingeniera Nancy Torres, por ser mi guía y motivarme continuamente en este trabajo de investigación, ya que, siempre me acompañó y me brindó su colaboración y conocimientos necesarios y sin su ayuda nada de esto hubiese sido posible.

Mil gracias a todo el equipo de trabajo del laboratorio de materiales de la Escuela, quienes estuvieron siempre dispuestos a colaborar en la elaboración de los especímenes de prueba y ejecución de los ensayos, en especial a los señores Cristian, Jairo, Luis y Ramón por la disponibilidad que siempre tuvieron con el desarrollo de mi proyecto de tesis.

A Kreato S.A.S. y V-ROD, muchas gracias por el aporte de los materiales claves para la ejecución de la presente investigación.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	20
ABSTRACT.....	23
INTRODUCCIÓN .....	25
<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>30</b>
1.1. FRP .....	30
1.2. NORMATIVIDAD EXISTENTE PARA EL DISEÑO CON MAMPOSTERÍA .....	30
1.2.1. NSR-10.....	30
1.2.2. TMS-402-16.....	31
1.3. NORMATIVIDAD EXISTENTE PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS DE CONCRETO CON FRP .....	31
1.3.1. ACI-440.1R-15.....	31
1.3.2. CSA S806.....	32
1.3.3. ASTM D7205.....	32
1.3.4. NTC 6280.....	32
1.4. ENSAYOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A CORTANTE EN MUROS DE MAMPOSTERIA .....	33
1.4.1. Compresión diagonal.....	33
1.4.2. Cortante directo a la mitad de la altura .....	35
1.5. CONSIDERACIONES DE ANÁLISIS Y DISEÑO .....	36
1.5.1. Desarrollo del esfuerzo en una barra recta de FRP (ACI 440.1R-15).....	36
1.5.2. Resistencia nominal a cortante.....	37
1.5.3. Resistencia nominal a cortante del refuerzo (TMS 402-16) .....	37
<b>2. ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>38</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>51</b>
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	51
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	51
<b>4. PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>52</b>
4.1. METODOLOGÍA .....	52
4.2. VARIABLES DE ESTUDIO EXPERIMENTAL .....	52
4.3. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES .....	53
4.3.1. Cemento .....	53
4.3.2. Mortero de pega .....	53
4.3.3. Mortero de relleno.....	53
4.3.4. Mampostería de concreto .....	53
4.3.5. Barras de GFRP.....	54
4.4. CONFIGURACIÓN DE LOS ESPECÍMENES .....	54
4.5. ESQUEMAS DE REFUERZO .....	56
4.5.1. Muro MD-C.....	56
4.5.2. Muro MD-1#5/140.....	57
4.5.3. Muro MD-1#5/60 .....	57
4.5.4. Muro MD-2#4/60.....	58
4.5.5. Muro MD-2#4/40 .....	58

4.5.6.	Muro MD-2#5/40 .....	59
4.5.7.	Muro MC-C.....	60
4.5.8.	Muro MC-1#5/120 .....	61
4.5.9.	Muro MC-1#5/60 .....	62
4.5.10.	Muro MC-2#4/60.....	63
4.5.11.	Muro MC-2#4/40.....	64
4.5.12.	Muro MC-2#5/40.....	65
4.6.	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES .....	66
4.6.1.	Mortero de pega .....	66
4.6.2.	Mortero de relleno.....	67
4.6.3.	Mampostería de concreto .....	68
4.6.4.	Barras de GFRP.....	68
4.7.	PROCESO CONSTRUCTIVO.....	69
4.7.1.	Construcción de los muros ensayados a compresión diagonal .....	69
4.7.2.	Construcción de los muros ensayados con carga puntual ubicada a mitad de la altura	74
4.8.	INSTRUMENTACIÓN DE MUROS.....	80
4.8.1.	Instrumentación interna de los muros .....	80
4.8.1.	Instrumentación externa de los muros ensayados a compresión diagonal .....	82
4.8.2.	Instrumentación externa de los muros ensayados a corte directo .....	83
4.9.	MONTAJE PARA LOS ENSAYOS .....	83
4.9.1.	Montaje para los ensayos a compresión diagonal .....	83
4.9.2.	Montaje para los ensayos a cortante directo con carga aplicada a mitad de la altura	85
4.9.3.	Aplicación de carga.....	87
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>88</b>
5.1.	RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES .....	88
5.1.1.	Mortero de Pega .....	88
5.1.2.	Mortero de Relleno.....	89
5.1.3.	Mampostería de concreto .....	90
5.1.4.	Barras de GFRP.....	91
5.2.	RESULTADOS DE LOS MUROS ENSAYADOS A COMPRESIÓN DIAGONAL .....	92
5.2.1.	Capacidad de carga.....	92
5.2.2.	Módulo de rigidez a cortante.....	94
5.2.3.	Modos de falla de los especímenes ensayados a compresión diagonal.....	95
5.2.3.1.	Modo de falla Muro MD-C .....	95
5.2.3.2.	Modo de falla Muro MD-1#5/140 .....	98
5.2.3.3.	Modo de falla Muro MD-1#5/60 .....	100
5.2.3.4.	Modo de falla Muro MD-2#4/60 .....	103
5.2.3.5.	Modo de falla Muro MD-2#4/40 .....	105
5.2.3.6.	Modo de falla Muro MD-2#5/40 .....	108
5.3.	RESULTADOS DE LOS MUROS ENSAYADOS A CORTANTE DIRECTO .....	111
5.3.1.	Capacidad de carga.....	111
5.3.2.	Modos de falla de los especímenes ensayados a corte directo .....	114

5.3.2.1.	Modo de falla Muro MC-C.....	114
5.3.2.2.	Modo de falla Muro MC-1#5/120 .....	119
5.3.2.3.	Modo de falla Muro MC-1#5/60 .....	123
5.3.2.4.	Modo de falla Muro MC-2#4/60 .....	128
5.3.2.5.	Modo de falla Muro MC-2#4/40 .....	133
5.3.2.6.	Modo de falla Muro MC-2#5/40 .....	138
5.4.	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	144
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>146</b>
A.	ANEXO.....	148
B.	ANEXO.....	150
C.	ANEXO.....	152
D.	ANEXO.....	157
E.	ANEXO .....	163
F.	ANEXO .....	164
G.	ANEXO.....	171
	BIBLIOGRAFÍA .....	202

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Montaje ensayo compresión diagonal ASTM-E519 (ASTM, 2002).....	34
Figura 1.2 Montaje típico del ensayo cortante-compresión en el plano (Borri et al., 2015) .....	35
Figura 1.3 Condición de equilibrio de una barra de FRP con longitud embebida en el concreto $l_e$ (ACI Committee 440., 2015) .....	36
Figura 2.1 Localización de las barras de GFRP en los muros de mampostería (Yu et al., 2017) 39	
Figura 2.2 Configuración del refuerzo en los muros (Otálora Barros, 2017) .....	41
Figura 2.3 Configuración dimensional y de refuerzo en los muros (Quintana Ruiz, 2017).....	43
Figura 2.4 Muros pequeños de ladrillo macizo: (a) compresión diagonal (b) compresión de cortante con orientación de ladrillo horizontal y (c) compresión de cortante con orientación de ladrillo vertical (Borri et al., 2015) .....	49
Figura 4.1 Dimensiones del bloque de perforación vertical BE-14 en cm .....	54
Figura 4.2 Configuración del muro MD-C .....	56
Figura 4.3 Configuración del refuerzo del muro MD-1#5/140.....	57
Figura 4.4 Configuración del refuerzo del muro MD-1#5/60.....	57
Figura 4.5 Configuración del refuerzo del muro MD-2#4/60.....	58
Figura 4.6 Configuración del refuerzo del muro MD-2#4/40.....	58
Figura 4.7 Configuración del refuerzo del muro MD-2#5/40.....	59
Figura 4.8 Configuración del muro MC-C .....	60
Figura 4.9 Configuración del refuerzo del muro MC-1#5/120.....	61
Figura 4.10 Configuración del refuerzo del muro MC-1#5/60.....	62
Figura 4.11 Configuración del refuerzo del muro MC-2#4/60.....	63
Figura 4.12 Configuración del refuerzo del muro MC-2#4/40.....	64
Figura 4.13 Configuración del refuerzo del muro MC-2#5/40.....	65
Figura 4.14 Despiece de construcción de las vigas de cimentación .....	74
Figura 4.15 Despiece de construcción de las vigas superiores .....	80
Figura 4.16 Localización de las galgas dentro de los muros .....	82
Figura 4.17 Montaje para los ensayos a compresión diagonal .....	84
Figura 4.18 Montaje para los ensayos a corte directo.....	86
Figura 5.1 Curva de esfuerzo cortante vs deformación unitaria de los muros ensayados a compresión diagonal .....	94
Figura 5.2 Fisuración y modo de falla del muro MD-C .....	96
Figura 5.3 Fisuración y modo de falla del muro MD-1#5/140.....	99
Figura 5.4 Fisuración y modo de falla del muro MD-1#5/60.....	101
Figura 5.5 Fisuración y modo de falla del muro MD-2#4/60.....	104
Figura 5.6 Fisuración y modo de falla del muro MD-2#4/40.....	106
Figura 5.7 Fisuración y modo de falla del muro MD-2#5/40.....	109
Figura 5.8 Curva Cortante Vs deformación muro MC-C .....	112
<i>Figura 5.9 Curva Cortante Vs deformación muro MC-1#5/120 .....</i>	<i>112</i>
Figura 5.10 Curva Cortante Vs deformación muro MC-1#5/60.....	112
Figura 5.11 Curva Cortante Vs deformación muro MC-2#4/60.....	112

Figura 5.12 Curva Cortante Vs deformación muro MC-2#4/40.....	113
Figura 5.13 Curva Cortante Vs deformación muro MC-2#5/40.....	113
Figura 5.14 Envolvente para cada uno de los muros ensayados a cortante directo .....	113
Figura 5.15 Fisuración y modo de falla del muro MC-C.....	115
Figura 5.16 Fisuración y modo de falla del muro MC-1#5/120 .....	120
Figura 5.17 Fisuración y modo de falla del muro MC-1#5/60 .....	124
Figura 5.18 Fisuración y modo de falla del muro MC-2#4/60 .....	129
Figura 5.19 Fisuración y modo de falla del muro MC-2#4/40 .....	134
Figura 5.20 Fisuración y modo de falla del muro MC-2#5/40 .....	140
Figura 6.1 Curva Esfuerzo-Deformación Unitaria Muestra 1 barra GFRP #5 .....	158
Figura 6.2 Curva Esfuerzo-Deformación Unitaria Muestra 2 barra GFRP #5 .....	159
Figura 6.3 Curva Esfuerzo-Deformación Unitaria Muestra 3 barra GFRP #4 .....	160
Figura 6.4 Curva Esfuerzo-Deformación Unitaria Muestra 4 barra GFRP #4 .....	162

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.1 Construcción de mampostería de concreto reforzada con barras de GFRP en las Bahamas (Nanni, n.d.) .....	28
Fotografía 1.1 Montaje del ensayo cortante-compresión en el plano (Borri et al., 2015) .....	35
Fotografía 4.1 Montaje del ensayo de resistencia a la compresión en cilindros de mortero de pega .....	67
Fotografía 4.2 Montaje del ensayo de resistencia a la compresión en cilindros de mortero de relleno .....	68
Fotografía 4.3 Montaje del ensayo de resistencia a la tensión en barras de GFRP .....	69
Fotografía 4.4 Armado de la cama de arena con cilindros de concreto .....	70
Fotografía 4.5 Acabado de la cama de arena para soporte de los muros de compresión diagonal .....	70
Fotografía 4.6 Mampostería de concreto perforada .....	71
Fotografía 4.7 Relleno de la segunda hilada del muro MD-2#4/60 .....	71
Fotografía 4.8 Colocación de icopor para sellar las celdas de mampostería .....	72
Fotografía 4.9 Ubicación y nivelación de la hilera .....	72
Fotografía 4.10 Colocación de las barras de GFRP .....	73
Fotografía 4.11 Relleno de las celdas de mampostería con el mortero de relleno .....	73
Fotografía 4.12 Relleno de las celdas de esquina del muro .....	73
Fotografía 4.13 Muro de mampostería para ensayo a compresión diagonal terminado .....	73
Fotografía 4.14 Armadura de acero de refuerzo de las vigas .....	74
Fotografía 4.15 Ubicación del refuerzo dentro de la formaleta y colocación del concreto .....	75
Fotografía 4.16 vibrado del concreto .....	75
Fotografía 4.17 Acabado de la superficie de las vigas .....	76
Fotografía 4.18 Viga de cimentación del muro de mampostería con primera y segunda hilada .....	77
Fotografía 4.19 Colocación de las barras de GFRP en el muro de mampostería de concreto .....	77
Fotografía 4.20 Colocación del mortero de relleno en la hilada 2 .....	78
Fotografía 4.21 Colocación del mortero de pega sobre la hilada 2 .....	78
Fotografía 4.22 Colocación de icopor para sellar las celdas de mampostería .....	78
Fotografía 4.23 Elaboración de la viga superior sobre el muro de mampostería .....	79
Fotografía 4.24 Instrumentación con galga de la barra de GFRP .....	80
Fotografía 4.25 Barra de GFRP instrumentada y protegida dentro del muro de mampostería .....	81
Fotografía 4.26 Montaje para los ensayos a compresión diagonal .....	84
Fotografía 4.27 Montaje para los ensayos a corte directo .....	86
Fotografía 5.1 Ensayo de resistencia a la compresión de un cilindro de mortero de pega .....	89
Fotografía 5.2 Modos de falla de los cilindros de mortero de pega en el ensayo de resistencia a la compresión para los muros de corte directo .....	89
Fotografía 5.3 Ensayo de resistencia a la compresión de un cilindro de mortero de relleno .....	90
Fotografía 5.4 Modos de falla de los cilindros de mortero de relleno en el ensayo de resistencia a la compresión para los muros de corte directo .....	90
Fotografía 5.5 Ensayo de resistencia a la tensión en barras de GFRP .....	92



Fotografía 5.6 Modos de falla de las barras de GFRP en el ensayo de resistencia a la tensión ..	92
Fotografía 5.7 Fisuras en la cara frontal del muro MD-C.....	96
Fotografía 5.8 Fisuras en la cara posterior del muro MD-C .....	97
Fotografía 5.9 Fisuras de la parte inferior izquierda en la cara frontal.....	97
Fotografía 5.10 Fisuras de la parte superior derecha en la cara frontal .....	97
Fotografía 5.11 Fisuras de la parte central de la cara frontal.....	98
Fotografía 5.12 Desplazamiento horizontal de aproximadamente 2 cm .....	98
Fotografía 5.13 Fisuras en la cara frontal del muro MD-1#5/140 .....	99
Fotografía 5.14 Fisuras de la parte superior izquierda en la cara frontal.....	100
Fotografía 5.15 Fisuras de la parte superior derecha en la cara frontal .....	100
Fotografía 5.16 Desplazamiento horizontal de aproximadamente 9 cm .....	100
Fotografía 5.17 Fisuras en la cara frontal del muro MD-1#5/60 .....	101
Fotografía 5.18 Fisuras en la cara posterior del muro MD-1#5/60 .....	102
Fotografía 5.19 Fisuras de la parte superior izquierda en la cara frontal.....	102
Fotografía 5.20 Fisuras de la parte superior derecha en la cara frontal .....	102
Fotografía 5.21 Fisuras de la parte superior izquierda en la cara posterior .....	103
Fotografía 5.22 Fisuras de la parte superior derecha en la cara posterior.....	103
Fotografía 5.23 Fisuras en la cara frontal del muro MD-2#4/60 .....	104
Fotografía 5.24 Fisuras de la parte superior derecha en la cara frontal .....	105
Fotografía 5.25 Fisuras de la parte central de la cara posterior .....	105
Fotografía 5.26 Fisuras en el bloque de la hilada 2 de la cara frontal .....	105
Fotografía 5.27 Fisuras en el bloque de la hilada 5 de la cara frontal .....	105
Fotografía 5.28 Fisuras en la cara frontal del muro MD-2#4/40 .....	106
Fotografía 5.29 Fisuras en la cara posterior del muro MD-2#4/40 .....	107
Fotografía 5.30 Fisuras de la parte superior izquierda en la cara frontal.....	107
Fotografía 5.31 Fisuras de la parte superior derecha en la cara posterior.....	107
Fotografía 5.32 Desplazamiento horizontal de aproximadamente 2 cm .....	108
Fotografía 5.33 Verificación de confinamiento de la barra de GFRP en la hilada 6.....	108
Fotografía 5.34 Fisuras en la cara frontal del muro MD-2#5/40 .....	109
Fotografía 5.35 Fisuras de la parte superior izquierda en la cara frontal.....	110
Fotografía 5.36 Línea de falla sobre la hilada 4 de la parte central en la cara frontal .....	110
Fotografía 5.37 Desplazamiento horizontal de aproximadamente 6 cm .....	110
Fotografía 5.38 Desplazamiento horizontal en la parte derecha de la cara frontal .....	110
Fotografía 5.39 Falta de confinamiento de las barras de GFRP en la primera celda de la hilada 5 .....	110
Fotografía 5.40 Fisuras en la cara frontal del muro MC-C.....	116
Fotografía 5.41 Fisura escalonada de la parte inferior en la cara frontal.....	117
Fotografía 5.42 Fisuras de la parte central izquierda en la cara frontal .....	117
Fotografía 5.43 Fisuras de la parte inferior derecha en la cara frontal .....	117
Fotografía 5.44 Fisuras de la parte inferior izquierda en la cara posterior .....	118
Fotografía 5.45 Fisuras de la parte inferior derecha en la cara posterior.....	118
Fotografía 5.46 Fisura escalonada de la parte superior en la cara frontal.....	118
Fotografía 5.47 Fisuras de la parte central izquierda en la cara frontal .....	119

Fotografía 5.48 Fisuras de la parte superior derecha en la cara frontal .....	119
Fotografía 5.49 Fisuras en la cara frontal del muro MC-1#5/120 .....	121
Fotografía 5.50 Fisuras de la parte inferior izquierda en la cara frontal .....	122
Fotografía 5.51 Fisuras de la parte inferior derecha en la cara posterior .....	122
Fotografía 5.52 Línea de falla entre las hiladas 8 y 9 de la parte izquierda en la cara frontal...	122
Fotografía 5.53 Línea de falla entre las hiladas 8 y 9 de la parte derecha en la cara frontal .....	123
Fotografía 5.54 Tensión de junta vertical entre el primer y segundo bloque de la hilada 8 en la cara frontal .....	123
Fotografía 5.55 Desprendimiento entre la primera hilada de mampostería y la viga de cimentación .....	123
Fotografía 5.56 Fisuras en la cara frontal del muro MC-1#5/60 .....	125
Fotografía 5.57 Línea de falla entre las hiladas 5 y 6 en la cara frontal .....	126
Fotografía 5.58 Línea de falla entre las hiladas 5 y 6 en la cara posterior.....	126
Fotografía 5.59 Línea de falla entre las hiladas 5 y 6 de parte izquierda en la cara frontal .....	126
Fotografía 5.60 Línea de falla entre las hiladas 5 y 6 de la parte derecha en la cara frontal .....	127
Fotografía 5.61 Fisuras en el bloque de la hilada 6 de la cara frontal .....	127
Fotografía 5.62 Fisuras en el bloque de la hilada 6 de la cara posterior .....	127
Fotografía 5.63 Desplazamiento horizontal entre las hiladas 5 y 6 en la parte derecha de la cara frontal .....	127
Fotografía 5.64 Desprendimiento del primer bloque de mampostería entre la primera hilada y la viga de cimentación .....	127
Fotografía 5.65 Fisuras en la cara frontal del muro MC-2#4/60 .....	130
Fotografía 5.66 Fisuras de la parte inferior en la cara frontal.....	131
Fotografía 5.67 Línea de falla entre las hiladas 5 y 6 en la cara frontal .....	131
Fotografía 5.68 Fisuras en los bloques de las hiladas 5 y 6 en la parte izquierda de la cara frontal .....	131
Fotografía 5.69 Fisura escalonada en la parte inferior derecha de la cara frontal .....	131
Fotografía 5.70 Fisuras de la parte superior en la cara frontal.....	132
Fotografía 5.71 Fisuras de la parte inferior en la cara posterior .....	132
Fotografía 5.72 Fisura escalonada de la parte inferior izquierda en la cara posterior .....	133
Fotografía 5.73 Fisura escalonada de la parte inferior derecha en la cara posterior.....	133
Fotografía 5.74 Fisuras en la cara frontal del muro MC-2#4/40 .....	135
Fotografía 5.75 Línea de falla entre las hiladas 8, 9 y 10 en la cara frontal .....	136
Fotografía 5.76 Aplastamiento del primer bloque de mampostería de la hilada 8 .....	136
Fotografía 5.77 Línea de falla entre las hiladas 8 y 9 de parte izquierda en la cara frontal .....	136
Fotografía 5.78 Línea de falla entre las hiladas 8, 9 y 10 de parte derecha en la cara frontal...	137
Fotografía 5.79 Línea de falla entre las hiladas 8, 9 y 10 de parte izquierda en la cara posterior .....	137
Fotografía 5.80 Línea de falla entre las hiladas 8 y 9 de parte derecha en la cara posterior .....	138
Fotografía 5.81 Desprendimiento del primer bloque de mampostería entre la primera hilada y la viga de cimentación en la cara frontal .....	138
Fotografía 5.82 Desprendimiento del primer bloque de mampostería entre la primera hilada y la viga de cimentación en la cara posterior .....	138

Fotografía 5.83 Fisuras en la cara frontal del muro MC-2#5/40 .....	141
Fotografía 5.84 Fisuras en la parte central de la cara frontal entre hiladas 8 y 9 .....	141
Fotografía 5.85 Fisuras de la parte inferior izquierda en la cara frontal.....	142
Fotografía 5.86 Fisuras de la parte inferior derecha en la cara frontal entre las hiladas 4, 5 y 6 .....	142
Fotografía 5.87 Desprendimiento del primer bloque de mampostería entre la primera hilada y la viga de cimentación en la cara frontal .....	143
Fotografía 5.88 Desplazamiento horizontal entre las hiladas 4 y 5 en la parte derecha de la cara frontal.....	143
Fotografía 5.89 Fisuras en la cara posterior del muro MC-2#5/40.....	143
Fotografía 5.90 Fisuras en la parte izquierda de la cara posterior .....	144
Fotografía 5.91 Fisuras en la parte derecha de la cara posterior.....	144

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Resumen de los esquemas de reforzamiento (Yu et al., 2017) .....	39
Tabla 2.2 Resumen de los muros del programa experimental (Otálora Barros, 2017).....	40
Tabla 2.3 Resumen de los muros del programa experimental (Quintana Ruiz, 2017) .....	42
Tabla 2.4 Resultados de los ensayos de compresión diagonal y compresión de cortante en muros de mampostería ensayados in situ (Borri et al., 2015).....	46
Tabla 2.5 Comparación de los resultados de los ensayos de compresión diagonal y compresión de cortante en muros de mampostería ensayados in situ (Borri et al., 2015) .....	46
Tabla 2.6 Resultados de los ensayos de compresión diagonal y compresión de cortante en muros de mampostería ensayados en el laboratorio (Borri et al., 2015).....	47
Tabla 2.7 Comparación de los resultados de los ensayos de compresión diagonal y compresión de cortante en muros de mampostería ensayados en el laboratorio (Borri et al., 2015) .....	47
Tabla 2.8 Resultados de los ensayos de compresión diagonal y compresión de cortante en muros pequeños de mampostería ensayados en el laboratorio (Borri et al., 2015) .....	48
Tabla 2.9 Comparación de los resultados de los ensayos de compresión diagonal y compresión de cortante en muros pequeños de mampostería ensayados en el laboratorio (Borri et al., 2015).....	48
Tabla 4.1 Nomenclatura y caracterización de los muros de estudio.....	55
Tabla 4.2 Cuantía de refuerzo GFRP en los muros .....	55
Tabla 4.3 Ensayos de las normas ASTM y NTC para caracterizar los materiales .....	66
Tabla 5.1 Propiedades mecánicas de las barras de GFRP ensayadas .....	91
Tabla 5.2 Propiedades mecánicas de las barras de GFRP dadas por V-ROD .....	91
Tabla 5.3 Resumen de los muros ensayados a compresión diagonal .....	93
Tabla 5.4 Determinación del módulo de rigidez de los muros de compresión diagonal .....	95
Tabla 5.5 Resumen de los muros ensayados a cortante directo .....	111
Tabla 5.6 Secuencia de fisuración muro MC-C.....	115
Tabla 5.7 Secuencia de fisuración muro MC-1#5/120 .....	120
Tabla 5.8 Secuencia de fisuración muro MC-1#5/60 .....	125
Tabla 5.9 Secuencia de fisuración muro MC-2#4/60 .....	129
Tabla 5.10 Secuencia de fisuración muro MC-2#4/40 .....	134
Tabla 5.11 Secuencia de fisuración muro MC-2#5/40 .....	140
Tabla 5.12 Relación $r = \tau_{0T} / \tau_{0D}$ .....	145
Tabla 6.1 Ensayos de resistencia a la compresión de cilindros de mortero de pega de los muros de compresión diagonal .....	148
Tabla 6.2 Ensayos de resistencia a la compresión de cilindros de mortero de pega de los muros de cortante directo.....	149
Tabla 6.1 Ensayos de resistencia a la compresión de cilindros de mortero de relleno de los muros de compresión diagonal .....	150
Tabla 6.2 Ensayos de resistencia a la compresión de cilindros de mortero de relleno de los muros de cortante directo.....	151
Tabla 6.1 Características Muestra 1barra GFRP #5.....	157
Tabla 6.2 Datos de la curva Esfuerzo-Deformación Unitaria Muestra 1 barra GFRP #5 .....	157

Tabla 6.3 Propiedades Mecánicas Muestra 1 barra GFRP #5 .....	157
Tabla 6.4 Características Muestra 2 barra GFRP #5.....	158
Tabla 6.5 Datos de la curva Esfuerzo-Deformación Unitaria Muestra 2 barra GFRP #5 .....	158
Tabla 6.6 Propiedades Mecánicas Muestra 2 barra GFRP #5 .....	159
Tabla 6.7 Características Muestra 3 barra GFRP #4.....	159
Tabla 6.8 Datos de la curva Esfuerzo-Deformación Unitaria Muestra 3 barra GFRP #4 .....	159
Tabla 6.9 Propiedades Mecánicas Muestra 3 barra GFRP #4 .....	160
Tabla 6.10 Características Muestra 4 barra GFRP #4.....	160
Tabla 6.11 Datos de la curva Esfuerzo-Deformación Unitaria Muestra 4 barra GFRP #4 .....	161
Tabla 6.12 Propiedades Mecánicas Muestra 4 barra GFRP #4 .....	161
Tabla 6.1 Ensayo de Compresión Diagonal Muro MD-C .....	165
Tabla 6.2 Ensayo de Compresión Diagonal Muro MD-1#5/140.....	166
Tabla 6.3 Ensayo de Compresión Diagonal Muro MD-1#5/60.....	167
Tabla 6.4 Ensayo de Compresión Diagonal Muro MD-2#4/60.....	168
Tabla 6.5 Ensayo de Compresión Diagonal Muro MD-2#4/40.....	169
Tabla 6.6 Ensayo de Compresión Diagonal Muro MD-2#5/40.....	170
Tabla 6.1 Ensayo de Cortante Directo Muro MC-C .....	172
Tabla 6.2 Ensayo de Cortante Directo Muro MC-1#5/120.....	180
Tabla 6.3 Ensayo de Cortante Directo Muro MC-1#5/60.....	184
Tabla 6.4 Ensayo de Cortante Directo Muro MC-2#4/60.....	187
Tabla 6.5 Ensayo de Cortante Directo Muro MC-2#4/40.....	194
Tabla 6.6 Ensayo de Cortante Directo Muro MC-2#5/40.....	197

## LISTADO DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

<b>Símbolo</b>	<b>Término</b>	<b>Unidad SI</b>
$\Delta$	Desplazamiento horizontal de un muro al aplicar una carga horizontal	mm
$\Delta H$	Acortamiento vertical en paralelo a la carga	mm
$\Delta V$	Alargamiento horizontal perpendicular a la carga	mm
$\mathcal{E}$	Deformación unitaria	mm/mm
$\mathcal{E}_c$	Deformación unitaria del concreto	mm/mm
$\mathcal{E}_s$	Deformación unitaria en el acero	mm/mm
$\mathcal{E}_{fe}$	Deformación unitaria en el FRP	mm/mm
$\ell_e$	Longitud de la barra embebida en el concreto	mm
$\gamma$	Deformación de cortante	mm/mm
$\phi$	Coeficiente de reducción de resistencia	
$\eta$	Factor de eficiencia del refuerzo transversal	
$\rho_n$	Cuantía de refuerzo que contribuye a resistir la fuerza cortante	
$A_e$	Área efectiva	mm <sup>2</sup>
$A_n$	Área neta de la sección transversal	mm <sup>2</sup>
$A_{nv}$	Área neta a cortante	mm <sup>2</sup>
$A_{vf}$	Área de acero para cortante	mm <sup>2</sup>
$A_s$	Área de la varilla del refuerzo transversal	mm <sup>2</sup>
$b$	Ancho de la sección transversal	mm
$c$	Profundidad del eje neutro	mm
$d_b$	Diámetro de la varilla	mm
$d_v$	Dimensión del elemento en dirección del corte considerado	mm
$F_c$	Fuerza de compresión	kN
$F_s$	Fuerza de tensión en el acero	kN
$F_{fe}$	Fuerza de tensión en el FRP	kN
$F_y$	Resistencia a la fluencia del acero	MPa
$f'_c$	Resistencia a la compresión del concreto	MPa
$f'_{cp}$	Resistencia a la compresión del mortero de pega	MPa
$f'_{cr}$	Resistencia a la compresión del mortero de relleno	MPa
$f'_m$	Resistencia a la compresión de la mampostería	MPa
$f'_y$	Esfuerzo de fluencia del refuerzo de cortante	MPa
$g$	Longitud de ensayo para compresión diagonal	mm
$G$	Módulo de rigidez o de elasticidad en cortante	MPa
$h$	Altura del espécimen	mm
$\phi M_n$	Momento nominal	kN-m
$M_u$	Momento último	kN-m
$M_{ns}$	Contribución del acero de refuerzo al momento nominal resistente	kN-m
$M_{nf}$	Contribución del refuerzo de FRP al Momento nominal resistente	kN-m
$n$	Porcentaje del área bruta de una unidad que es sólida, expresada como decimal	
$P$	Carga aplicada ensayo de compresión diagonal	kN
$s$	Separación del refuerzo a cortante	mm
$S_s$	Esfuerzo cortante en el área neta	MPa
$t$	Espesor total del muro	mm

<b>Símbolo</b>	<b>Término</b>	<b>Unidad SI</b>
$u$	Esfuerzo de adherencia que actúa sobre la superficie de la barra	MPa
$V_n$	Resistencia nominal por corte del elemento	kN
$V_{ns}$	Cortante nominal resistido por el refuerzo	kN
$V_{nm}$	Cortante nominal resistido por la mampostería	kN
$V_u$	Cortante último	kN
$w$	Ancho del espécimen	mm

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
<i>ACI</i>	American Concrete Institute
<i>ASCE</i>	American Society of Civil Engineers
<i>ASTM</i>	American Society for Testing and Materials
<i>CSA</i>	Canadian Standards Association
<i>FRP</i>	Fiber Reinforced Polymer
<i>GFRP</i>	Glass Fiber Reinforced Polymer
<i>ICONTEC</i>	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
<i>NSR-10</i>	Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.
<i>LVDT</i>	Linear Variable Differential Transformer
<i>TMS</i>	The Masonry Society
<i>DMO</i>	Disipación moderada de energía
<i>DES</i>	Disipación especial de energía

**COMPORTAMIENTO A CORTANTE DE MUROS DE MAMPOSTERIA DE  
CONCRETO, REFORZADOS INTERNAMENTE CON BARRAS DE GFRP, SUJETOS  
A CARGAS EN EL PLANO**

**ANGELA MARÍA HERRERA CASTRO**

**RESUMEN**

La mampostería estructural es un sistema ampliamente usado en Colombia, en las edificaciones destinadas al uso de vivienda, muros de cerramientos y muros de contención, comúnmente reforzadas con barras de acero convencional. Sin embargo, el acero en estructuras que se encuentran expuestas a ambientes agresivos tiende a sufrir problemas de corrosión, ocasionando la pérdida de capacidad portante y afectando la integridad estructural.

Como alternativa al acero de refuerzo han surgido los polímeros reforzados con fibra FRP (Fiber Reinforced Polymer, por sus siglas en inglés), cuyas propiedades son entre otras: mayor resistencia a la tracción, resistencia a la corrosión, peso liviano, facilidad de instalación en comparación con métodos convencionales, y la carencia de conductividad eléctrica y magnética.

En la actualidad se encuentran la guía de diseño americana ACI 440.1R-15 “Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars”, la cual contiene las recomendaciones para el diseño de estructuras nuevas en concreto con refuerzo interno en barras de FRP y la normatividad canadiense CSA-S806 “Design and Construction of Building Components with Fibre-Reinforced Polymers”, que cubre los requisitos generales de diseño, diseño de estados límite, las propiedades de los componentes de FRP y el diseño de elementos de concreto con refuerzo de FRP.



Debido al gran vacío encontrado en la normatividad nacional e internacional, en lo referente al uso de FRP como refuerzo interno en muros de mampostería, y dando continuidad a la labor investigativa en la línea de mampostería reforzada internamente con barras de FRP, llevada a cabo por la Directora y el asesor del presente proyecto, en el marco de la línea de investigación Comportamiento Estructural del grupo GIMECI, se plantea el siguiente programa experimental, donde inicialmente se evalúa la capacidad a cortante de muros de mampostería reforzados internamente con barras de GFRP (Glass Fiber Polymer, por sus siglas en inglés) ante cargas paralelas al plano.

Este documento contiene los resultados de un programa experimental que se llevó a cabo en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Donde se construyeron 6 especímenes a escala natural, con dimensiones de largo, alto y ancho de 1.60 m x 2.60 m x 0.14 m y 6 especímenes de 1.60 m x 1.40 m x 0.14 m. En total se construyeron 12 especímenes, de los cuales 2 se establecieron como muros de control y 10 se reforzaron con barras de GFRP con diferentes cuantías de refuerzo. Los principales parámetros de estudio de la presente investigación fueron el diámetro de las barras, la separación entre estas y la cuantía de refuerzo.

Las deformaciones unitarias en las barras de refuerzo se midieron mediante galgas e igualmente se registraron los desplazamientos en la mitad de la altura de los especímenes mediante transductores de desplazamiento LVDT – “Linear Variable Displacement Transducers” –.

Los resultados experimentales mostraron que la resistencia a cortante de los muros ensayados a compresión diagonal aumentó de 1.94 a 3.13 veces, mientras que la de los muros ensayados a cortante directo aumentó a 1.63 veces en relación con los especímenes de control.

Esto indica la viabilidad de usar barras GFRP para mejorar el desempeño de los muros de mampostería contra cargas cortantes.

Palabras claves:

**Mampostería, GFRP, Cortante, Compresión diagonal, Cortante directo.**

## ABSTRACT

Structural masonry is a widely used system in Colombia, especially in apartment buildings, houses, perimeter walls and retaining walls. These structures are commonly built with conventional steel reinforcement bars. However, steel reinforcement in structures that are exposed to aggressive environments tends to suffer corrosion problems, which causes loss of bearing capacity and affects the structural integrity.

Fiber Reinforced Polymer (FRP) has emerged as an alternative to steel reinforcement, whose properties are, among others, higher tensile strength, resistance to corrosion, light weight, ease of installation in comparison with conventional reinforcement, and lack of electrical and magnetic conductivity.

Currently, there is the American design guide ACI 440.1R-15 "Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars", which contains the recommendations for design and construction of new structural concrete reinforced with FRP bars and the Canadian standard CSA-S806 "Design and Construction of Building Components with Fiber-Reinforced Polymers", which covers the general design requirements, the limit state design, the properties of the FRP components and the design of concrete elements with FRP reinforcement.

Due to huge voids found in the national and international regulations, regarding the use of FRP as internal reinforcement in masonry walls, and giving continuity to the research work in the field of masonry reinforced internally with FRP bars, carried out by the director and the advisor of the present project, within the framework of the Structural Behavior research field of the GIMECI group, proposes the following experimental program, where initially the shear

capacity of masonry walls reinforced internally with GFRP bars is evaluated (Glass Fiber Polymer), when they are loaded in the plane.

An experimental program was conducted at the Julio Garavito Colombian School of Engineering. Where 6 specimens were built on full-scale, with dimensions of length, height and width of 1.60 m x 2.60 m x 0.14 m and another 6 specimens of 1.60 m x 1.40 m x 0.14 m. A total of 12 specimens were built, of which 2 were established as control walls and 10 were reinforced with GFRP bars with different reinforcement ratios. The diameter, spacing between bars and reinforcement ratio were the main investigated parameters in the experimental study.

Gauges were used to measure the strain of reinforcement bars and Linear Variable Displacement Transducers (LVDTs) were used to record displacements at half height of the walls.

The experimental results showed that the shear strength of the walls tested under diagonal compression increased from 1.94 to 3.13 times, while that of the walls tested with direct shear increased to 1.63 times in relation to the control specimens. This indicates the feasibility of using GFRP bars to improve the performance of masonry walls against shear loads.

Key words:

**Masonry, GFRP, shear, diagonal compression, compression shear.**

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día los ingenieros civiles, se enfrentan a grandes problemas como el deterioro de las estructuras de concreto reforzado: edificios, puentes, estructuras marinas, túneles y presas, causado principalmente por la corrosión del acero de refuerzo interno. El acero de refuerzo está inicialmente protegido contra la corrosión por la alcalinidad del concreto; sin embargo, cuando las estructuras de concreto reforzado se encuentran expuestas a ambientes agresivos, la presencia de  $\text{CO}_2$  y  $\text{SO}_3$  en el ambiente inician el proceso de carbonatación, por el cual, se reduce la alcalinidad del concreto y aumenta la formación de grietas ocasionadas por la corrosión del acero de refuerzo. En el caso de la exposición de las estructuras a un medio marino, la presencia de iones cloruro provocan la ruptura de la capa pasiva de protección del acero, causando que este se oxide o se delamine. La corrosión finalmente causa el deterioro del concreto, la pérdida de capacidad de servicio y afecta la integridad estructural que pueden poner fuera de servicio las estructuras (Parvin & Raad, 2017).

Aunque se han utilizado muchas alternativas para afrontar el problema de la corrosión del acero, como el aumento del recubrimiento del concreto, el mejoramiento de la impermeabilidad del concreto, la protección con recubrimiento epóxico del refuerzo y el proceso de galvanizado del mismo, ninguno de estos procedimientos ha demostrado ser una solución efectiva o económica a largo plazo para la corrosión del acero de refuerzo. Por el contrario, el costo extraordinariamente alto asociado con la reparación y restauración de estructuras deterioradas ha influido en la búsqueda de una solución efectiva como es el uso de barras de polímeros reforzados con fibra, FRP (Fiber Reinforced Polymer por sus siglas en inglés), como refuerzo

para estructuras de concreto (Hasaballa, 2014) el cual es un material que no sufre la corrosión típica del acero de refuerzo.

La corrosión del acero en las estructuras de concreto reforzado ha costado una cantidad significativa de recursos a nivel mundial en las últimas décadas. El costo anual total de las reparaciones o rehabilitaciones de estructuras de concreto reforzado causadas por la corrosión en todo el mundo en 2010 se estimó en USD \$ 2,2 billones, lo que representa aproximadamente el 3% del PIB mundial (Hays, 2010). De esta manera, el uso de las barras de polímero reforzado con fibra de vidrio GFRP, se presentan como una solución factible y económica para el problema de la corrosión del acero, aun cuando el costo inicial de los materiales de FRP podría ser mayor que el acero, los gastos de mantenimiento y reparación de daños se reducirían durante la vida de servicio de las estructuras (Alam & Muntasir Billah, 2012).

Actualmente, muchas investigaciones en todo el mundo se han dirigido hacia el uso de polímeros reforzados con fibras (FRP), debido a sus ventajosas propiedades como peso liviano, resistencia a la corrosión, facilidad de instalación en comparación con métodos convencionales, la carencia de conductividad eléctrica y magnética y una mayor resistencia a la tracción (Parvin & Raad, 2017). Y aunque, numerosos científicos han trabajado en el uso de barras de FRP como refuerzo interno de elementos de concreto, solo unos pocos investigadores han empezado a trabajar en el concepto de usar barras de FRP como refuerzo interno en muros de mampostería.

Por lo general, las barras de FRP en ensayo de tensión directa, presentan un comportamiento elástico lineal perfecto hasta alcanzar la falla con un módulo de elasticidad relativamente bajo (50 - 65 GPa para FRP de vidrio "GFRP" y 110 - 140 GPa para FRP de carbono "CFRP") comportamiento diferente al del acero (200 GPa), que presenta una meseta de fluencia. Además,

tienen un comportamiento diferente de adherencia al concreto y baja resistencia bajo esfuerzos de compresión. En este sentido, se han realizado investigaciones experimentales para verificar el comportamiento de diferentes elementos de concreto reforzado internamente con barras de FRP. Los estudios de investigación en las últimas dos décadas estuvieron involucrados en la evaluación del comportamiento de elementos individuales de concreto reforzado con FRP tales como vigas y losas simplemente apoyadas, y recientemente vigas y columnas continuas. Sin embargo, no se encontraron investigaciones que evaluaran el comportamiento de muros de mampostería reforzados internamente con barras de FRP.

En Colombia, el actual Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10, no cubre en ninguno de sus títulos C y D, el diseño de estructuras de concreto o muros de mampostería reforzados con FRP (AIS, 2012). Países como Estados Unidos y Canadá donde se ha fomentado el uso del FRP en la industria de la construcción durante las últimas décadas, cuentan con guías de diseño y normativas como el ACI 440.1R-15 y CSA-S806 respectivamente. Sin embargo, estas no contemplan el diseño de mampostería reforzada internamente con barras de FRP.

No obstante, aun sabiendo que no existe una normativa para el diseño y construcción de estructuras de mampostería reforzadas internamente con barras de FRP, en algunos lugares del mundo como en las Bahamas (Islas del Caribe), han comenzado a construir estructuras de mampostería de concreto reforzadas con barras de GFRP como se muestra en la Fotografía 1.1, aprovechando las propiedades de este material resistente a la corrosión en lugares marinos y muy probablemente siguiendo las recomendaciones de los fabricantes.



*Fotografía 1.1 Construcción de mampostería de concreto reforzada con barras de GFRP en las Bahamas (Nanni, n.d.)*

Por lo tanto, y continuando con la línea de investigación iniciada en la Escuela Colombiana de Ingeniería, donde ya se llevó a cabo una investigación para evaluar el comportamiento a flexión fuera del plano de mampostería reforzada internamente con barras de FRP, se desarrolló el presente estudio para determinar si las barras de GFRP ofrecen una alternativa para el



reforzamiento interno a cortante de muros de mampostería, teniendo en cuenta que la mampostería estructural es un material ampliamente usado en Colombia, en las edificaciones destinadas al uso de vivienda, muros de cerramientos y muros de contención y previendo que en un futuro se pueda usar el GFRP como una alternativa al acero de refuerzo.

Con el desarrollo de este proyecto de grado, se buscó determinar la resistencia a cortante de la mampostería, mediante dos tipos de ensayos; corte directo y compresión diagonal de muros de mampostería reforzados internamente con barras de GFRP. El proyecto se inició con la construcción de 12 muros de mampostería de concreto con las siguientes variables de estudio: cuantía de refuerzo a cortante, separación del refuerzo, diámetro de la barra y altura del muro.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. FRP

Los compuestos de FRP consisten en una base de refuerzo (fibras) incrustada en una matriz (polímero). Una barra de FRP está elaborada de fibras continuas embebidas en una matriz hecha de una resina polimérica. Las fibras tienen la función de llevar la carga; la resina tiene la función de unir las fibras, transferir la carga a las fibras y proteger las fibras. La fracción de fibra y volumen afecta significativamente la resistencia y la rigidez del FRP, mientras que el tipo de resina afecta el mecanismo de falla y la resistencia a la fractura. Una barra de FRP es anisotrópica, donde los factores que influyen en las propiedades de la barra son la orientación de la fibra, la velocidad de curado de la resina, el proceso de fabricación y el control de calidad durante la fabricación (Nanni, De Luca, & Zadeh, 2014).

### 1.2. NORMATIVIDAD EXISTENTE PARA EL DISEÑO CON MAMPOSTERÍA

Actualmente existe una variedad de normas para el diseño y construcción de muros de mampostería. En Colombia se utiliza la norma colombiana de construcción sismo resistente NSR-10, título D, la cual se basa en el código americano (TMS 402-16/ACI 530-16/ASCE 5-16). A continuación, se describe brevemente cada una de estas.

#### *1.2.1. NSR-10*

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, en su publicación NSR-10 en su título D establece los requisitos mínimos de diseño y construcción para las estructuras de mampostería y sus elementos por el método del estado límite de resistencia. Esta norma abarca temas como

calidad de los materiales, requisitos constructivos, requisitos generales de análisis y diseño, muros de mampostería reforzada, parcialmente reforzada, no reforzada y confinada.

### ***1.2.2. TMS-402-16***

The Masonry Society, desarrolla el código que cubre el diseño y la construcción de estructuras de mampostería con especificaciones que contienen los requisitos mínimos de construcción para mampostería en estructuras. Algunos de los temas que abarca el código son: definiciones, documentos contractuales, control de calidad, materiales, colocación de elementos embebidos, análisis y diseño, estabilidad y capacidad de servicio, cargas a flexión y axiales, cortante, detalles y desarrollo de refuerzos de acero, requisitos de diseño sísmico, entre otros (MSJC, 2016).

## **1.3. NORMATIVIDAD EXISTENTE PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS DE CONCRETO CON FRP**

Países como Estados Unidos y Canadá pioneros en el uso del FRP debido a sus continuas investigaciones han desarrollado guías y normas para el diseño y la construcción de estructuras de concreto con barras de FRP, las cuales se citan a continuación.

### ***1.3.1. ACI-440.1R-15***

El comité ACI 440 cuya misión es investigar y dar a conocer información sobre los polímeros reforzados con fibra (FRP) usados como refuerzo interno y externo de concreto y de mampostería, ha desarrollado la guía (ACI 440.1R-15) para el diseño y construcción de concreto estructural reforzado internamente con barras de FRP, basándose en investigaciones experimentales y trabajo analítico desarrollado alrededor del mundo en el campo del FRP. Esta guía brinda un resumen acerca del desarrollo histórico del material, sus propiedades y da unas

pautas generales en el diseño y la construcción de elementos estructurales de concreto reforzado con barras de FRP (ACI Committee 440., 2015). Aunque, esta guía no tiene en consideración el diseño sísmico, actualmente se están adelantando investigaciones en este ámbito.

### ***1.3.2. CSA S806***

Canadian Standards Association en el 2002 proporcionó por primera vez una norma (CSA S806) que contiene el diseño y la construcción de estructuras con polímeros reforzados con fibra (FRP). La norma cubre los requisitos generales de diseño, diseño de estados límite, las propiedades de los componentes de FRP y materiales de refuerzo, el diseño de componentes de concreto con refuerzo de FRP, el diseño de componentes de concreto preesforzado con FRP, el diseño de componentes con superficie adherida de FRP, el diseño de concreto reforzado con revestimiento compuesto con fibra (FRC) / FRP, y diseño y construcción sísmica (CSA, 2002).

### ***1.3.3. ASTM D7205***

La norma estándar del American Society for Testing and Materials ASTM-D7205 (ASTM, 2016) contiene el método de ensayo para determinar las propiedades de las barras de FRP sometidas a tensión como la resistencia última a la tracción, el esfuerzo último de tracción, el módulo de elasticidad y la curva esfuerzo-deformación. Adicionalmente, incluye los factores de prueba relevantes para la respuesta a la tensión medida de las barras como la preparación de la muestra, el acondicionamiento de la muestra, el entorno del ensayo, la alineación y el agarre de la muestra y la velocidad del ensayo.

### ***1.3.4. NTC 6280***

En el año 2018 en Colombia, ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación) publicó la normatividad NTC 6280 que contiene las especificaciones para las

barras en polímeros reforzados con fibra (FRP). El alcance que esta norma abarca los requisitos de los procesos de fabricación de barras de polímeros reforzados con fibras (FRP) o barras que son parte de una malla para su uso en refuerzos interiores no pretensados de componentes de concreto en estructuras y los correspondientes ensayos para verificar sus propiedades mecánicas (ICONTEC, 2018).

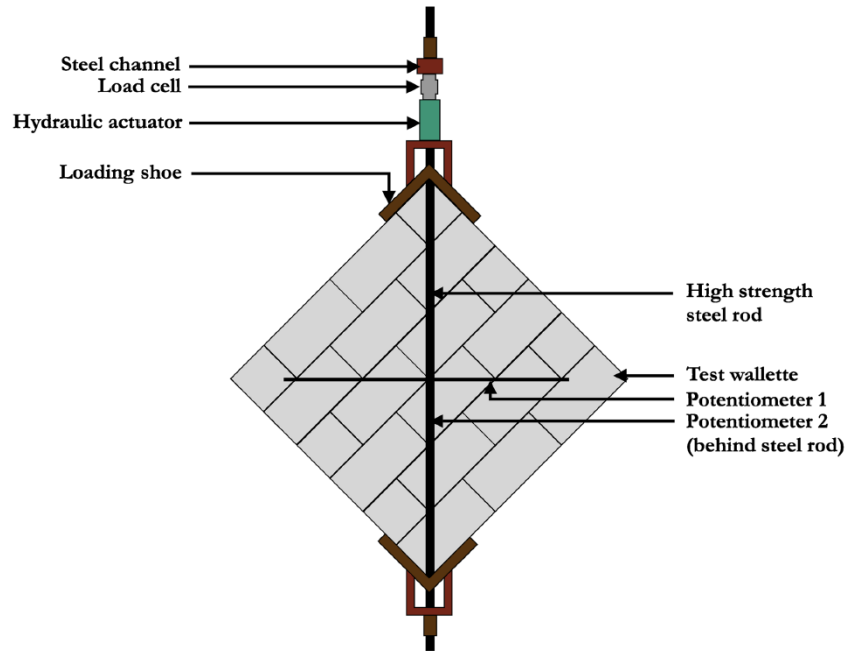
#### **1.4. ENSAYOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A CORTANTE EN MUROS DE MAMPOSTERIA**

Para la evaluación de la capacidad a cortante en muros de mampostería se han desarrollado ensayos estándar como el de compresión diagonal y otros empíricos por parte de algunas universidades como el de cortante directo a la mitad de la altura, los cuales se diferencian por la forma en que se aplica la carga. Estos se describen a continuación.

##### ***1.4.1. Compresión diagonal***

Según la norma estándar del American Society for Testing and Materials ASTM-E519 (ASTM, 2002) , este ensayo se introdujo para simular un estado de esfuerzo de cortante puro. En estas condiciones, el círculo de Mohr del estado de esfuerzo se centra en los orígenes de los ejes  $\sigma - \tau$ . El esfuerzo cortante,  $S_s$  de la mampostería, igual al esfuerzo de tensión principal  $\sigma_1$ , al aplicar la carga  $P$  en base al área neta  $A_n$ .

El procedimiento de ensayo consiste en rotar el muro  $45^\circ$  y aplicar las fuerzas verticalmente a través de las esquinas del muro como se muestra en la Figura 1.1



*Figura 1.1 Montaje ensayo compresión diagonal ASTM-E519 (ASTM, 2002)*

De esta manera, se determina el esfuerzo cortante mediante la Ecuación 1 y el área neta de la sección con la Ecuación 2:

$$S_s = \sigma_1 = \frac{0.707P}{A_n} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$A_n = \left( \frac{W + h}{2} \right) tn \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde la deformación de cortante puede calcularse mediante la Ecuación 3.

$$\gamma = \frac{\Delta V + \Delta H}{g} \quad \text{Ecuación 3}$$

De igual manera, el módulo de Rigidez (módulo de elasticidad en cortante) se puede calcular con la Ecuación 4:

$$G = \frac{S_s}{\gamma}$$

*Ecuación 4*

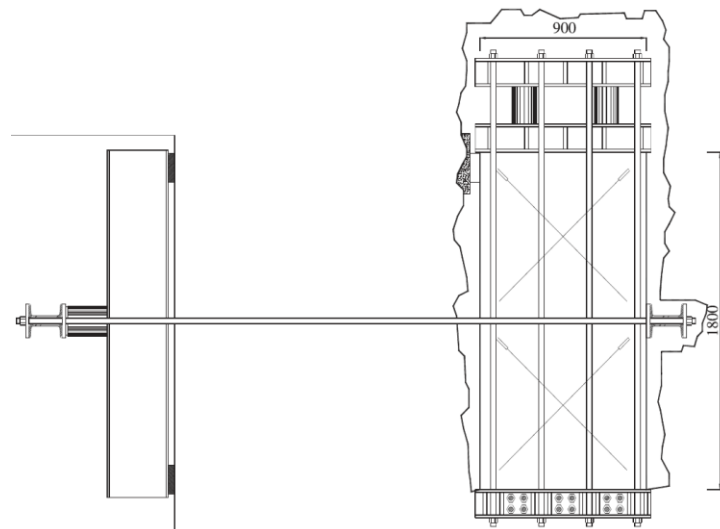
En este programa de investigación se adoptó una versión modificada del ensayo ASTM-E517, en la que el muro no se giró 45° para evitar daños que pudieran ocurrir al rotar el espécimen no ensayado. El montaje adoptado para estos ensayos se explica más detalladamente en la sección 4.9.1 del presente documento.

#### ***1.4.2. Cortante directo a la mitad de la altura***

La resistencia a cortante se evalúa aquí con el ensayo de compresión de corte como el esfuerzo cortante promedio en un muro sometido a una compresión vertical y a una carga horizontal en su plano aplicada a mitad de la altura. Para la conducción de estos ensayos, se hizo una adaptación al montaje utilizado en la Universidad de Perugia, Italia (Borri, Castori, & Corradi, 2015).



*Fotografía 1.1 Montaje del ensayo cortante-compresión en el plano (Borri et al., 2015)*



*Figura 1.2 Montaje típico del ensayo cortante-compresión en el plano (Borri et al., 2015)*

El montaje utilizado para realizar los ensayos a cortante directo de la presente investigación se muestra en la sección 4.9.2 de este documento.

## 1.5. CONSIDERACIONES DE ANÁLISIS Y DISEÑO

Para calcular las capacidades de los muros planteados en el presente proyecto, y debido a la ausencia de una normativa para el diseño de mampostería reforzada internamente con barras de FRP, se siguieron los lineamientos de las normas TMS 402-16 que contiene las especificaciones para estructuras en mampostería y ACI 440.1R-15 que contiene las recomendaciones para el diseño de estructuras de concreto reforzadas con FRP en una primera aproximación.

### 1.5.1. Desarrollo del esfuerzo en una barra recta de FRP (ACI 440.1R-15)

La fuerza de tensión se transfiere al refuerzo a través de la adherencia entre el refuerzo y el concreto circundante. La fuerza en la barra es resistida por el esfuerzo de adherencia promedio  $u$  que actúa sobre la superficie de la barra (ver Figura 1.3).

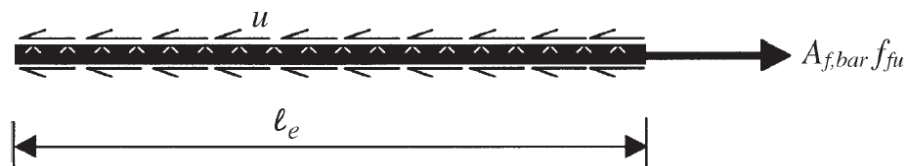


Figura 1.3 Condición de equilibrio de una barra de FRP con longitud embebida en el concreto  $l_e$  (ACI Committee 440., 2015)

Haciendo equilibrio de fuerzas se obtiene la Ecuación 5:

$$l_e \pi d_b u = A_{f,bar} f_f \quad \text{Ecuación 5}$$

donde  $f_f$  es el esfuerzo desarrollado en la barra al final de la longitud de empotramiento.



Una regresión lineal del esfuerzo de adherencia promedio normalizado versus la longitud de empotramiento (empalme) y recubrimiento normalizada dio como resultado la Ecuación 6 ecuación después de redondear los coeficientes:

$$\frac{u}{0.083\sqrt{f'_c}} = 4.0 + 0.3 \frac{C}{d_b} + 100 \frac{d_b}{\ell_e} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde C es el menor entre: el recubrimiento al centro de la barra ( $d_c$ ) o la mitad de la separación entre centros de barras que están siendo desarrolladas.

### **1.5.2. Resistencia nominal a cortante**

$$V_n = V_{nm} + V_{ns} \quad \text{Ecuación 7}$$

### **1.5.3. Resistencia nominal a cortante del refuerzo (TMS 402-16)**

$$V_{ns} = 0.5 \left( \frac{A_v}{s} \right) f_y d_v \quad \text{Ecuación 8}$$

## 2. ESTADO DEL ARTE

El uso del GFRP como alternativa al acero de refuerzo ha sido un tema bastante estudiado por diferentes autores en su interés por diseñar y construir estructuras resistentes a la corrosión.

En la literatura no se encontraron investigaciones sobre la evaluación de muros de mampostería reforzados con barras de FRP a cortante en el plano, la gran mayoría de estudios se centran en la rehabilitación y reforzamiento externo de estructuras existentes y en algunos casos con barras planas colocadas externamente en las juntas de mortero de la mampostería.

En Estados Unidos, Piyong Yu investigó la posibilidad de utilizar barras preesforzadas de fibra de vidrio (GFRP) para mejorar la resistencia al corte en el plano de los muros de mampostería no reforzada (URM) (Yu, Silva, & Nanni, 2017). En este estudio, se empleó la técnica de refuerzo montado cerca de la superficie (NSM) para reforzar los muros con barras GFRP preesforzadas. Las barras GFRP preesforzadas se usarían para volver a rellenar o cerrar fisuras abiertas en estructuras de mampostería existentes. En total, se ensayaron ocho muros de mampostería de concreto con dimensiones totales de  $1.63 \times 1.63 \times 0.15$  m bajo compresión diagonal en el plano, de los cuales dos especímenes eran de control, dos eran reforzados con barras de GFRP sin preesforzar y cuatro eran reforzados con barras de GFRP preesforzadas a diferentes niveles. Las barras GFRP con diámetro nominal de 6 mm se instalaron dentro de las ranuras cortadas a lo largo de las pegas horizontales. La Tabla 2.1 presenta la cantidad de barras, los niveles de preesforzado y la relación de refuerzo por cada muro y Figura 2.1 la identificación de cada muro y la localización de las barras en los muros en relación con las uniones de pega.

Tabla 2.1 Resumen de los esquemas de reforzamiento (Yu et al., 2017)

Property	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
GFRP bars quantity	None	None	3	7	2	3	4	7
Prestress level (%) <sup>a</sup>	—	—	0	0	45	22	42	20
GFRP bars location <sup>b</sup>	—	—	2,4,6	1-7	3,5	2,4,6	1,3,5,7	1-7
Reinforcement ratio $\rho^c$	—	—	0.40	0.93	0.27	0.40	0.53	0.93

<sup>a</sup>Ratio of prestress level over the tensile strength of FRP bars.

<sup>b</sup>Refer to Fig. 1.

<sup>c</sup> $\rho = (A_{frp}/A_{wall}) \times (E_{frp}/E_{wall})(\%)$ .

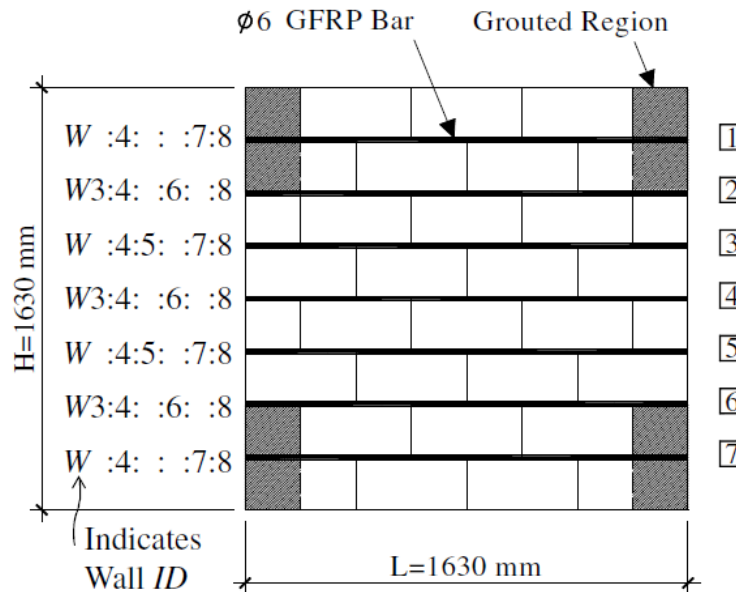


Figura 2.1 Localización de las barras de GFRP en los muros de mampostería (Yu et al., 2017)

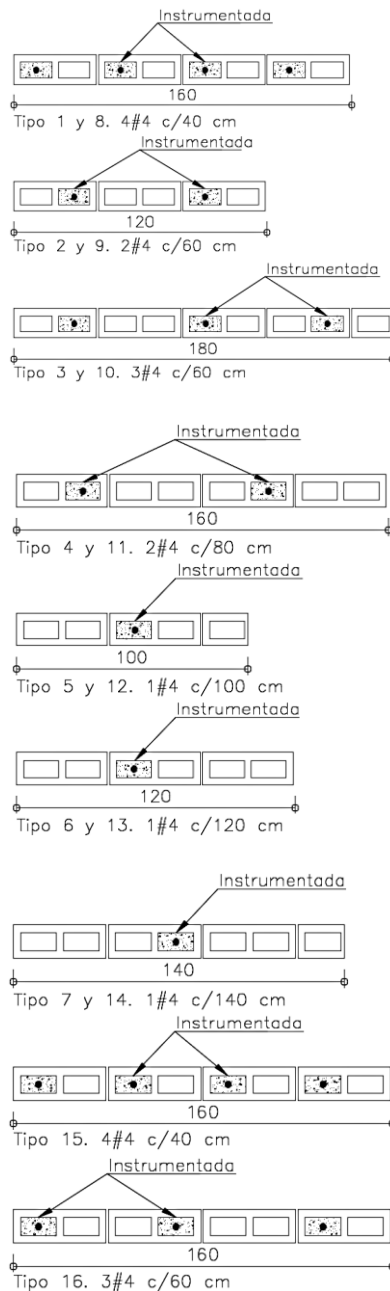
Los resultados experimentales mostraron un aumento en la capacidad a cortante de los muros URM reforzados y este aumento fue más pronunciado para los muros reforzados con barras GFRP preesforzadas. Adicionalmente, el reforzamiento de los muros de mampostería con barras GFRP preesforzadas demostró que puede ser una técnica viable para rellenar, reparar y cerrar grietas abiertas en estructuras de mampostería existentes. Además, la relación de deriva calculada en los muros reforzados fue considerablemente mayor cuando la falla fue a lo largo de las fisuras diagonales escalonadas. Se utilizaron resultados experimentales para modificar y calibrar un modelo teórico de fricción de corte para predecir la capacidad de cortante en el plano

de muros URM reforzados con barras GFRP pretensadas. El modelo fue capaz de predecir razonablemente bien la capacidad de corte de los muros URM reforzados.

En Colombia, tal como ya se mencionó anteriormente, la Escuela Colombiana de Ingeniería (Otálora Barros, 2017), llevó a cabo un estudio experimental para calcular las capacidades a flexión de la mampostería de concreto ante cargas perpendiculares al plano. Las principales variables de estudio fueron: la longitud de muro para evaluar el comportamiento para diferentes cuantías de refuerzo y el tipo de refuerzo (GFRP, CFRP y acero) para comparar el comportamiento con diferentes materiales como refuerzo interno. Se mantuvo constante la altura de los muros de 220 cm y el espesor de 14 cm. Se construyeron y ensayaron 16 muros de mampostería en concreto; 7 reforzados con barras de GFRP, 7 reforzados con barras de CFRP y 2 reforzados con barras de acero. La Tabla 2.2 muestra en resumen las características de los muros que comprendió el programa experimental y la Figura 2.2 la configuración del refuerzo vertical.

*Tabla 2.2 Resumen de los muros del programa experimental (Otálora Barros, 2017)*

<b>Muro</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Refuerzo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Separación (cm)</b>	<b>Diámetro</b>	<b>As (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Cuantía</b>
Tipo 1	160	GFRP	4	40	#4	507	0.0045
Tipo 2	120	GFRP	2	60	#4	253	0.0030
Tipo 3	180	GFRP	3	60	#4	380	0.0030
Tipo 4	160	GFRP	2	80	#4	253	0.0023
Tipo 5	100	GFRP	1	100	#4	127	0.0018
Tipo 6	120	GFRP	1	120	#4	127	0.0015
Tipo 7	140	GFRP	1	140	#4	127	0.0013
Tipo 8	160	CFRP	4	40	#4	507	0.0045
Tipo 9	120	CFRP	2	60	#4	253	0.0030
Tipo 10	180	CFRP	3	60	#4	380	0.0030
Tipo 11	160	CFRP	2	80	#4	253	0.0023
Tipo 12	100	CFRP	1	100	#4	127	0.0018
Tipo 13	120	CFRP	1	120	#4	127	0.0015
Tipo 14	140	CFRP	1	140	#4	127	0.0013
Tipo 15	160	Acero	4	40	#4	516	0.0046
Tipo 16	160	Acero	3	60	#4	387	0.0035



*Figura 2.2 Configuración del refuerzo en los muros (Otálora Barros, 2017)*

El estudio concluyó que para cuantías de refuerzo equivalentes, los momentos nominales de los muros reforzados con CFRP comparados con los momentos nominales de los muros reforzados con GFRP, son mayores en promedio un 30%. También, comprobó que los muros reforzados con FRP, comparados con los muros de mampostería reforzados con acero, permiten mayores deflexiones ante cargas de servicio y presentan menores deflexiones residuales. Se

evidenció una buena aproximación de las capacidades calculadas teóricamente con base en los códigos TMS 402-16 y el ACI 440.1R-15 respecto a las experimentales obtenidas en el laboratorio. El autor recomendó no llevar los diseños a condiciones de falla, ya que, al presentarse fisuras por aplastamiento, se pierde adherencia entre las unidades de mampostería y el mortero de relleno que envuelve el refuerzo; y esto puede conducir a que el sistema pierda la capacidad de trabajar monolíticamente.

Ese mismo año, también en la Escuela Colombiana de Ingeniería (Quintana Ruiz, 2017), evaluó el comportamiento a flexión fuera del plano, de muros de mampostería en arcilla reforzada internamente con barras de CFRP y GFRP, La investigación comprendió la construcción de 16 muros de mampostería de arcilla de los cuales se reforzaron 7 con barras de GFRP y los otros 7 se reforzaron con barras CFRP y los últimos dos fueron reforzados con acero convencional. Todos los muros tuvieron una altura de 2.19 m y un espesor de 0.145 m. La Tabla 2.3 presenta la nomenclatura de los muros y el tipo de refuerzo colocado. En la Figura 2.3 se muestra las dimensiones de los muros en planta y la configuración del refuerzo. Para todos los muros reforzados con FRP se utilizaron barras de 12 mm de diámetro.

*Tabla 2.3 Resumen de los muros del programa experimental (Quintana Ruiz, 2017)*

<b>Muro</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Refuerzo</b>
M1	M1-G	1045	4 Barras de GFRP
M2	M2-G	1490	4 Barras de GFRP
M3	M3-G	1345	3 Barras de GFRP
M4	M4-G	745	1 Barra de GFRP
M5	M5-G	890	1 Barra de GFRP
M6			1 Barra de GFRP
M7	M7-G	1490	1 Barra de GFRP
M8	M8-C	1045	4 Barras de CFRP
M9	M9-C	1490	4 Barras de CFRP
M10	M10-C	1345	3 Barras de CFRP
M11	M11-C	745	1 Barra de CFRP
M12	M12-C	890	1 Barra de CFRP

M13	M13-C	1190	1 Barra de CFRP
M14	M14-C	1490	1 Barra de CFRP
M15	M15-S	1490	4 Barras de Acero
M16	M16-S	1490	3 Barras de Acero

Nota: el muro M6-G no se construyó debido a que en el transcurso de los ensayos el autor concluyó que los muros con cuantías bajas no presentaban concordancia con los valores teóricos calculados.

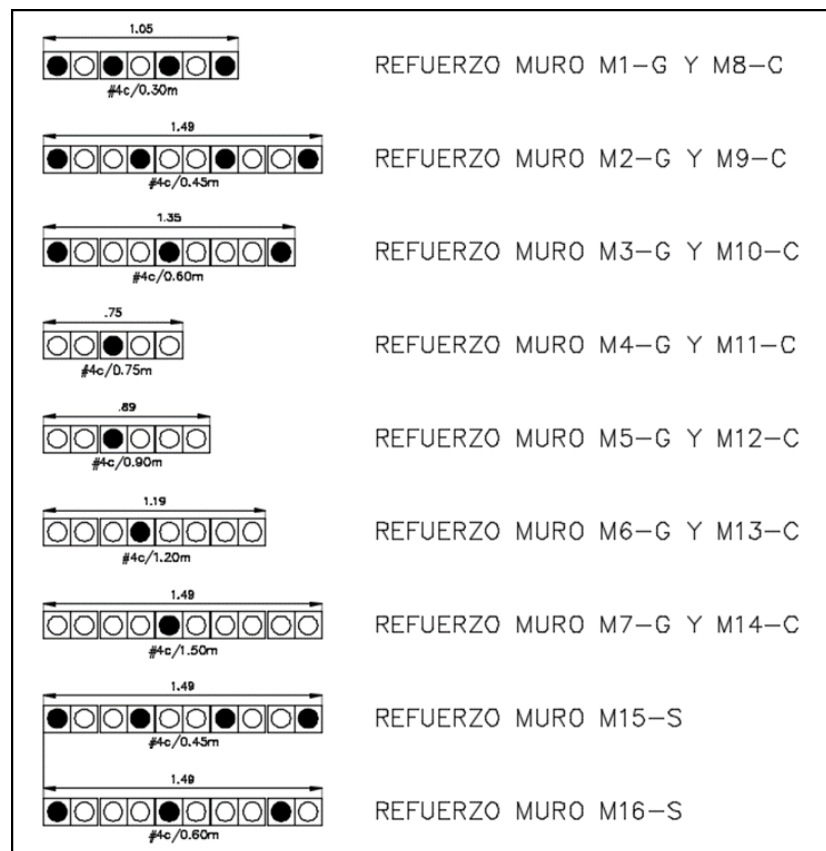


Figura 2.3 Configuración dimensional y de refuerzo en los muros (Quintana Ruiz, 2017)

Los resultados de los ensayos mostraron que los muros reforzados con barras de FRP experimentan deflexiones mayores a los muros reforzados con acero convencional (debido a su bajo módulo de elasticidad). El investigador observó que las capacidades teóricas, en la mayoría de los ensayos, estuvo por encima de los resultados experimentales, esto se debió posiblemente a dos motivos: primero, a la pérdida de adherencia entre el mortero de relleno y la barra bajo cierto

estado de carga, o segundo a que la adherencia entre el mortero de relleno y la unidad de mampostería posiblemente no era la óptima. Con base en lo anterior, el autor desarrollo ensayos de pull-out a las barras y evidenció una buena adherencia, manifestando que posiblemente, la inferior capacidad experimental de los muros, con respecto a la teórica, se debía a la fragilidad de los materiales cerámicos, donde se debe considerar un factor adicional para reducir la capacidad teórica. Durante los ensayos se evidenció que para estados de carga altos (tercer y cuarto ciclo de carga) se presentaba deformaciones muy altas en el muro, ocasionando la separación entre los ladrillos y el mortero de pega, impidiendo que el muro pudiera absorber más carga y en la mayoría de los casos los modos de falla de los muros no alcanzaron el aplastamiento en la mampostería, la cual fue la premisa de diseño. Los muros con cuantías superiores a 0,0047, reforzados con GFRP y con CFRP, alcanzaron capacidades similares a las teóricas. Sin embargo, los muros que tenían cuantías inferiores estuvieron lejos de las capacidades teóricas, lo que indicó que aun cuando el modo de falla analizado fuera aplastamiento en la mampostería, se debería tener una mínima cantidad de refuerzo para garantizar el comportamiento que señala la teoría. El autor concluyó que se debe tener especial atención a los estados límites de servicio ya que los muros reforzados con FRP presentan deflexiones mayores y por lo tanto anchos de fisuras mayores a los muros reforzados con acero bajo cargas relativamente bajas (para el primer y segundo ciclo de carga). También, fue muy enfático en indicar que se debe tener especial cuidado con el valor teórico del módulo de rotura de la mampostería, propuesto por el ACI 530, ya que estos valores fueron determinados a partir de ensayos de mampostería que producen en los Estados Unidos. Además, mostró que la metodología de Branson para el cálculo de las deflexiones de los muros de esta investigación subestima el valor de la deflexión de los muros, y



aunque la metodología de Bischoff se ajusta un poco mejor los resultados, las deflexiones experimentales de los muros resultaron ligeramente mayores que las deflexiones teóricas.

En Italia (Borri et al., 2015), evaluaron la resistencia a cortante de muros de mampostería en el plano a través de los ensayos de compresión diagonal (cargas monotónicas) y compresión de cortante (cargas cuasi estáticas). El programa experimental comprendió un total de 35 especímenes, de los cuales 19 se fabricaron en el laboratorio y 16 se cortaron de edificios existentes. Los ensayos in situ se llevaron a cabo en construcciones históricas ubicadas en el centro de Italia, mientras que los ensayos de laboratorio en muros grandes y pequeños se llevaron a cabo en el laboratorio Lastru de la Universidad de Perugia. Adicionalmente, desarrollaron un modelo tridimensional de elementos finitos para representar el comportamiento no lineal de los muros de mampostería ensayados.

Todos los muros se identificaron mediante un código de cuatro índices, el primero indicaba el tipo de ensayo (CD = compresión diagonal, TC = compresión de cortante); el segundo número indicaba la identificación del muro; el tercero la ubicación de la estructura de la que se obtuvieron los especímenes (B = Belfiore, V = Vescia, F = Farnetta, P = Ponte, U = Colle Umberto, S = San Felice, L = Laboratorio), mientras que el cuarto índice indicaba el tipo de intervención realizada (siempre es OR, ya que solo informa de los resultados en muros sin refuerzo).

Para los muros grandes, las resistencias a cortante de los ensayos de compresión diagonal y compresión de cortante se muestran en la Tabla 2.4 para los ensayos in situ y en Tabla 2.6 para los ensayos en laboratorio. La relación  $r = \tau_{0T}/\tau_{0D}$  ( $\tau_{0T}$  resistencia a cortante en el ensayo de

compresión de cortante y  $\tau_{0D}$  resistencia a cortante en el ensayo de compresión diagonal), se muestran en la Tabla 2.5 para los ensayos in situ y en Tabla 2.7 para los ensayos en laboratorio.

*Tabla 2.4 Resultados de los ensayos de compresión diagonal y compresión de cortante en muros de mampostería ensayados in situ (Borri et al., 2015)*

Test No.	Panel dimensions (mm)	Masonry texture	Failure load (kN)	Compression stress $\sigma_0$ (MPa)	Shear strength $\tau_0$ (MPa)	Shear strength $S_S$ (MPa)
CD-03-F-OR	1200×1190×480	1	37.0	—	0.0215	0.046
CD-04-F-OR	1200×1200×480	1	37.9	—	0.0219	0.047
CD-01-B-OR	1200×1220×480	1A	58.8	—	0.0337	0.072
CD-13-P-OR	1230×1220×480	1	47.7	—	0.0270	0.059
CD-02-U-OR	1170×1180×480	1	31.2	—	0.0188	0.039
CD-06-U-OR	1190×1200×600	1	44.1	—	0.0209	0.043
CD-09-S-OR	1180×1200×280	2	19.6	—	0.0195	0.041
TC-01-F-OR	860×480×1820	1	34.3*	0.147	0.0250	—
TC-02-F-OR	863×480×1800	1	37.0*	0.184	0.0241	—
TC-05-F-OR	900×480×1800	1	62.5*	0.183	0.0531	—
TC-04-B-OR	880×480×1830	1A	88.3*	0.308	0.0705	—
TC-07-V-IN	930×480×1830	1A	100.5*	0.287	0.0823	—
TC-15-P-OR	880×480×1820	1	74.4*	0.122	0.0837	—
TC-16-U-OR	890×480×1820	1	36.1	0.100	0.0320	—
TC-17-U-OR	900×600×1810	1	36.9	0.100	0.0430	—
TC-18-S-OR	880×280×1890	2	40.6	0.200	0.0604	—

Masonry textures: 1: double-leaf stone panel, 1A: double-leaf stone masonry with two solid brick courses at intervals of 800-1200 mm, 2: solid bricks; CD = diagonal compression, B = Belfiore, V = Vescia, F = Farnetta, P = Ponte, U = Colle Umberto, S = San Felice, L = Laboratory.

*Tabla 2.5 Comparación de los resultados de los ensayos de compresión diagonal y compresión de cortante en muros de mampostería ensayados in situ (Borri et al., 2015)*

Test No.	Test type	Texture	$r = \tau_{0T}/\tau_{0D}$
CD-01-B-OR	Diagonal compression	Double-leaf rubble stone masonry with two solid brick courses at intervals of 800-1200 mm	2.27
TC-04-B-OR	Shear-compression		
TC-07-V-IN	Shear-compression	Double-leaf rubble stone masonry	3.10
CD-13-P-OR	Diagonal compression		
TC-15-P-OR	Shear-compression	Double-leaf rubble stone masonry	1.13
CD-03-F-OR	Diagonal compression		
CD-04-F-OR	Diagonal compression		
TC-01-F-OR	Shear-compression		
TC-02-F-OR	Shear-compression	Double-leaf rubble stone masonry	1.70
TC-05-F-OR	Shear-compression		
CD-02-U-OR	Diagonal compression	Double-leaf rubble stone masonry	2.29
TC-16-U-OR	Shear-compression		
CD-02-U-OR	Diagonal compression	Double-leaf rubble stone masonry	3.10
TC-17-U-OR	Shear-compression		
CD-09-S-OR	Diagonal compression	Double-leaf solid brick masonry	3.10
TC-18-S-OR	Shear-compression		

*Tabla 2.6 Resultados de los ensayos de compresión diagonal y compresión de cortante en muros de mampostería ensayados en el laboratorio (Borri et al., 2015)*

Test No.	Panel dimensions (mm)	Masonry texture	Failure load (kN)	Compression stress $\sigma_0$ (MPa)	Shear strength $\tau_0$ (MPa)	Shear strength $S_S$ (MPa)
CD-08-L-OR	1200×1200×480	1	34.8	—	0.020	0.044
TC-35-L-OR	900×510×1805	1	109.3	0.208	0.104	—
TC-36-L-OR	900×490×1810	1	52.0	0.208	0.036	—
TC-37-L-OR	900×510×1805	1	80.7	0.188	0.071	—
TC-39-L-OR	900×486×1900	1	87.6	0.209	0.083	—
CD-20-L-OR	1190×1200×245	2	38.1	—	0.043	0.090
CD-21-L-OR	1190×1200×245	2	46.5	—	0.053	0.117
TC-22-L-OR	890×1810×245	2	84.1	0.482	0.144	—
TC-42-L-OR	900×1790×250	2	61.3	0.397	0.094	—
TC-44-L-OR	925×1800×250	2	70.8	0.386	0.113	—

*Tabla 2.7 Comparación de los resultados de los ensayos de compresión diagonal y compresión de cortante en muros de mampostería ensayados en el laboratorio (Borri et al., 2015)*

Test No.	Test type	Texture	$r_2 = \tau_{0T}/\tau_{0D}$
CD-08-L-OR	Diagonal compression	Double-leaf rubble stone masonry	3.67
TC-35-L-OR	Shear-compression		
TC-36-L-OR	Shear-compression		
TC-37-L-OR	Shear-compression		
TC-39-L-OR	Shear-compression		
CD-20-L-OR	Diagonal compression	Solid bricks	2.44
CD-21-L-OR	Diagonal compression		
TC-22-L-OR	Shear-compression		
TC-42-L-OR	Shear-compression		
TC-44-L-OR	Shear-compression		

Para los muros pequeños, las resistencias a cortante de los ensayos de compresión diagonal y compresión de cortante ensayados en laboratorio se muestran en la Tabla 2.8. La relación  $r$  se muestra en la Tabla 2.9.

*Tabla 2.8 Resultados de los ensayos de compresión diagonal y compresión de cortante en muros pequeños de mampostería ensayados en el laboratorio (Borri et al., 2015)*

Test No.	Panel dimensions (mm)	Failure load (kN)	Compression stress $\sigma_0$ (MPa)	Shear strength $\tau_0$ (MPa)	Shear strength $S_S$ (MPa)	Texture
CD-70-L-OR	500×510×120	3.78	—	0.0210	0.0445	1
CD-71-L-OR	500×500×120	5.60	—	0.0311	0.0660	1
CD-72-L-OR	500×505×120	8.42	—	0.0468	0.0992	1
CD-73-L-OR	500×500×120	7.68	—	0.0427	0.0905	1
TC-80-L-OR	1000×510×120	12.81	0.33	0.0700	—	1
TC-81-L-OR	1010×500×120	16.77	0.32	0.1080	—	1
TC-82-L-OR	1000×500×120	15.42	0.35	0.0910	—	1
TC-83-L-OR	1000×510×120	8.55	0.32	0.0360	—	2
TC-84-L-OR	1010×510×120	7.76	0.23	0.0390	—	2

Bond pattern: 1 = horizontal courses, 2 = vertical courses.

*Tabla 2.9 Comparación de los resultados de los ensayos de compresión diagonal y compresión de cortante en muros pequeños de mampostería ensayados en el laboratorio (Borri et al., 2015)*

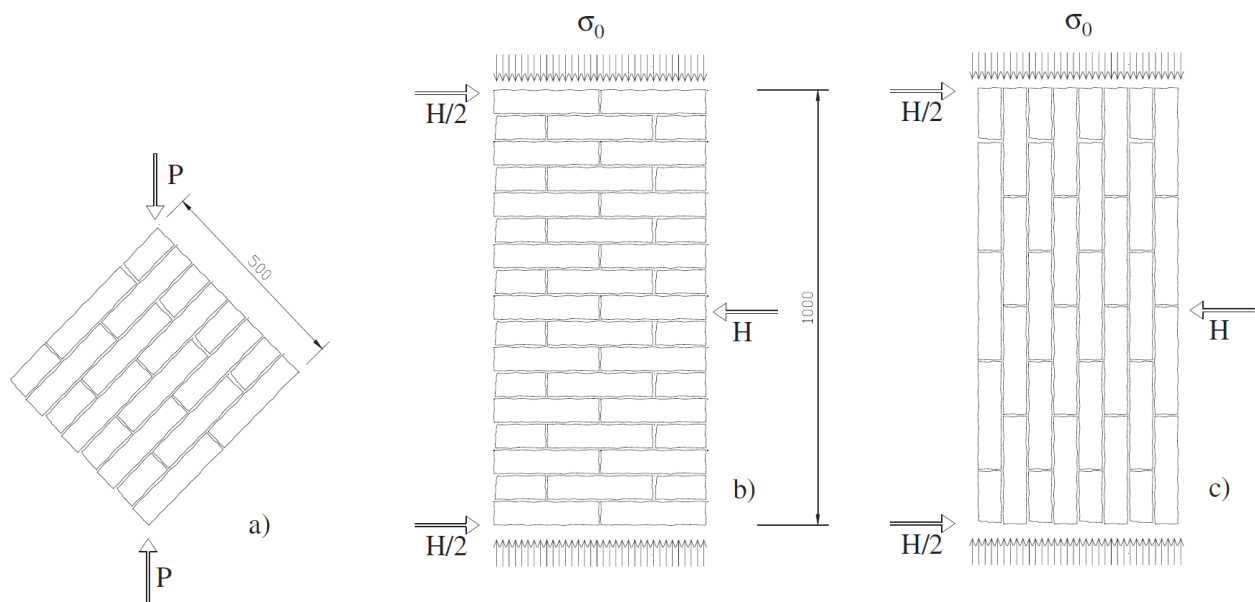
Comparison of the results from the diagonal compression and the shear-compression tests (small brick panels)			
Test No.	Test type	Bond pattern	$r = \tau_{0T}/\tau_{0D}$
CD-70-F-OR	Diagonal compression	Solid bricks (bond pattern 1 for shear-compression test)	2.53
CD-71-F-OR	Diagonal compression		
CD-72-F-OR	Diagonal compression		
CD-73-F-OR	Diagonal compression		
TC-80-F-OR	Shear-compression		
TC-81-F-OR	Shear-compression		
TC-82-F-OR	Shear-compression	Solid bricks (bond pattern 2 for shear-compression test)	1.06
CD-70-F-OR	Diagonal compression		
CD-71-F-OR	Diagonal compression		
CD-72-F-OR	Diagonal compression		
CD-73-F-OR	Diagonal compression		
TC-83-F-OR	Shear-compression		
TC-84-F-OR	Shear-compression		

Bond pattern: 1 = horizontal courses, 2 = vertical courses.

Los autores identificaron una diferencia significativa tanto en los ensayos realizados en el sitio como los realizados en el laboratorio entre los resultados obtenidos de los dos métodos de ensayo. Observaron que la relación  $r = \tau_{0T}/\tau_{0D}$  entre los resultados de la resistencia a cortante para los dos ensayos es siempre mayor que 1, donde  $\tau_{0T}$  la resistencia a cortante en el ensayo de compresión de cortante y  $\tau_{0D}$  la resistencia a cortante en el ensayo de compresión diagonal, resaltando la necesidad de elegir el ensayo que mejor simule el comportamiento real de la mampostería cuando está esforzada por cargas laterales.

Los resultados experimentales de los ensayos de laboratorio realizados en muros pequeños y grandes de ladrillos macizos confirmaron que el tipo de ensayo influye en la resistencia a cortante. La diferencia entre los resultados de cortante de los dos métodos de ensayo parece ser aún mayor para los muros de ladrillo dispuestos en líneas horizontales en comparación con los muros de piedra de escombros.

Los investigadores también analizaron la influencia del patrón de unión para los muros pequeños de ladrillo macizo (ver Figura 2.4). Los muros de ladrillos dispuestos en líneas verticales mostraron una resistencia al corte más baja en comparación con los mismos muros dispuestos en líneas horizontales estándar. La relación  $r$  generalmente asumió valores altos que varían entre 2.44 y 2.53 para muros de ladrillo dispuestos en un patrón de unión en líneas horizontales (ver Tabla 2.7 y Tabla 2.9).



*Figura 2.4 Muros pequeños de ladrillo macizo: (a) compresión diagonal (b) compresión de cortante con orientación de ladrillo horizontal y (c) compresión de cortante con orientación de ladrillo vertical (Borri et al., 2015)*

Adicionalmente, los autores demostraron por medio de un análisis de elementos finitos que los ensayos de cortante tienen siempre una relación  $r = \tau_{0T}/\tau_{0D}$  mayor que 1, que varía entre 1.23 y 1.89. A pesar de los resultados de los ensayos experimentales, el valor de esta relación nunca superó los 1.89 para todos los análisis de elementos finitos realizados.

Habiendo evaluado el estado del arte y apoyado en el marco teórico, se decidió plantear un proyecto de investigación, con el fin de dar continuidad en la línea de investigación de mampostería reforzada internamente con barras de FRP, donde se evaluó la capacidad a cortante de muros de mampostería de concreto reforzados internamente con barras de GFRP y mediante los dos ensayos propuestos cortante en el plano y compresión diagonal, evaluar cual representa mejor la sollicitación de corte en los muros estudiados, encontrar una relación  $r$  de capacidad de resistencia entre dichos ensayos y adicionalmente, basados en las especificaciones del manual TMS 402 y ACI, determinar el coeficiente de cortante cuando se utilizan barras de GFRP en mampostería de concreto reforzada.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento a cortante de muros de mampostería de concreto, reforzados internamente con barras de GFRP, sujetos a cargas en el plano, mediante dos métodos de ensayo.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar parámetros de resistencia y deformación en especímenes de prueba con diferentes configuraciones de refuerzo.
- Identificar los modos de falla a cortante de los muros de mampostería de concreto, reforzado con barras de GFRP.
- Comparar el desempeño de cada uno de los muros reforzados con barras de GFRP.
- Desarrollar recomendaciones preliminares para el diseño a cortante de muros de mampostería reforzados con barras de GFRP.

## **4. PROGRAMA EXPERIMENTAL**

### **4.1. METODOLOGÍA**

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos de esta investigación, se planteó un programa experimental, para evaluar la capacidad a cortante de los muros de mampostería reforzados con barras de GFRP, ante cargas paralelas al plano.

- ✓ Primero, se realizó la caracterización de los materiales y se determinó las propiedades mecánicas de acuerdo a las normas ASTM y NTC.
- ✓ Segundo, se determinaron las dimensiones, cuantías y tipo de refuerzo a utilizar en los muros.
- ✓ Posteriormente, se construyeron 12 muros de mampostería de concreto, con alturas de 1.40 m y 2.60 m, con una longitud de 1.60 m, y un ancho de 0.14 m.
- ✓ Paralelamente, se realizaron los ensayos de compresión diagonal y de cortante directo con carga puntual aplicada a la mitad de la altura de los muros.

### **4.2. VARIABLES DE ESTUDIO EXPERIMENTAL**

Las variables de esta investigación fueron:

- La cuantía de refuerzo horizontal.
- Separación entre barras horizontales.
- El diámetro de la barra de refuerzo de GFRP.
- La altura del muro.



### **4.3. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES**

#### ***4.3.1. Cemento***

El cemento utilizado en la preparación de los morteros usados en los muros y las vigas de soporte fue cemento portland tipo 1 de la marca Cemex que cumple con las normas NTC 121 y NTC 321 equivalentes a las normas ASTM C150 y C595.

#### ***4.3.2. Mortero de pega***

Los muros elaborados para el estudio de esta investigación fueron construidos con un mortero tipo S con una resistencia a la compresión esperada de 12,5 MPa y una fluidez entre 110 – 120% siguiendo las especificaciones de las normas NTC 3329 y ASTM C270. En la sección 4.6.1, se presenta una descripción de la realización de los ensayos al mortero de pega.

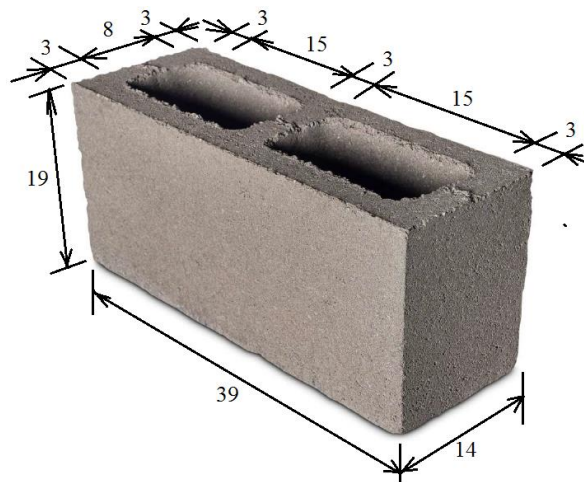
#### ***4.3.3. Mortero de relleno***

Como mortero de relleno se usó un grout fluido con una resistencia a la compresión esperada de 12,5 MPa y un tamaño máximo del agregado de 3/8" (10 mm) siguiendo los lineamientos de las normas NTC 4048 y ASTM C476. En la sección 4.6.2, se presenta una descripción de la realización de los ensayos al mortero de relleno.

#### ***4.3.4. Mampostería de concreto***

Las unidades (bloques) de mampostería de perforación vertical portante de concreto usadas para la construcción de los muros fueron de la empresa KREATO S.A. las cuales cumplen con la norma NTC 4026 (ASTM C90). En la Figura 4.1 se muestran las dimensiones del bloque de mampostería de concreto tipo BE-14. La relación entre el área de las celdas verticales de la unidad de mampostería (240 cm<sup>2</sup>) y el área de la sección transversal (546 cm<sup>2</sup>) fue de 44% (menor al 65% cumpliendo con el numeral D.3.6.4.1 de la NSR-10). El espesor de las paredes y

tabiques transversales del bloque fue mayor a 25 mm cumpliendo con lo especificado en la Tabla D.36-1 de la NSR-10.



*Figura 4.1 Dimensiones del bloque de perforación vertical BE-14 en cm*

#### **4.3.5. Barras de GFRP**

Las barras de GFRP de 12 y 15 mm de diámetro nominal, utilizadas en la presente investigación fueron suministradas por la Empresa V-ROD, e importadas desde Canadá. Las cuales siguen los lineamientos especificados en las normas NTC 6280 y ASTM D7205.

#### **4.4. CONFIGURACIÓN DE LOS ESPECÍMENES**

A continuación, en la Tabla 4.1, se presenta la nomenclatura, las características y detalles de refuerzo de los muros estudiados. Los primeros 6 muros se ensayaron a compresión diagonal, los restantes 6 a cortante directo. Para cada tipo de ensayo se construyó un muro patrón MD-C y MC-C respectivamente. La nomenclatura empleada para identificar a los especímenes es MD para los ensayos de compresión diagonal y MC para indicar los ensayos de corte directo, el primer número indica la cantidad de barras por hilada, el segundo número indica el número de la barra y el tercer número indica la separación entre las barras horizontales en centímetros.

Tabla 4.1 Nomenclatura y caracterización de los muros de estudio

Espécimen	Nomenclatura	Tipo de ensayo	Dimensiones BxH (mm x mm)	Configuración del Refuerzo
1	MD-C	Compresión diagonal	1600x1400	Sin Refuerzo
2	MD-1#5/140	Compresión diagonal	1600x1400	1#5@1.20
3	MD-1#5/60	Compresión diagonal	1600x1400	1#5@0.60
4	MD-2#4/60	Compresión diagonal	1600x1400	2#4@0.60
5	MD-2#4/40	Compresión diagonal	1600x1400	2#4@0.40
6	MD-2#5/40	Compresión diagonal	1600x1400	2#5@0.40
7	MC-C	Cortante directo	1600x2600	Sin Refuerzo
8	MC-1#5/120	Cortante directo	1600x2600	1#5@1.20
9	MC-1#5/60	Cortante directo	1600x2600	1#5@0.60
10	MC-2#4/60	Cortante directo	1600x2600	2#4@0.60
11	MC-2#4/40	Cortante directo	1600x2600	2#4@0.40
12	MC-2#5/40	Cortante directo	1600x2600	2#5@0.40

De acuerdo a la disponibilidad de las barras de GFRP en el laboratorio (#4 y #5), se plantearon 22 esquemas de refuerzo cuyas cuantías variaban entre 0 y 0.011608 de los cuales se escogieron 12 que representaran uniformemente este rango para la fabricación de los especímenes. Las cuantías de los muros se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Cuantía de refuerzo GFRP en los muros

Espécimen	Nomenclatura	s (mm)	Barras GFRP	$A_v$ (mm <sup>2</sup> )	$\eta$	$t_{ef}$ (mm)	$\rho_n$
1	MD-C	-	-	-	-	-	-
2	MD-1#5/140	1400	1#5	199	0,7	60	0,001658
3	MD-1#5/60	600	1#5	199	0,7	60	0,003869
4	MD-2#4/60	600	2#4	258	0,7	60	0,005017
5	MD-2#4/40	400	2#4	258	0,7	60	0,007525
6	MD-2#5/40	400	2#5	398	0,7	60	0,011608
7	MC-C	-	-	-	-	-	-
8	MC-1#5/140	1200	1#5	199	0,7	60	0,001935
9	MC-1#5/60	600	1#5	199	0,7	60	0,003869
10	MC-2#4/60	600	2#4	258	0,7	60	0,005017
11	MC-2#4/40	400	2#4	258	0,7	60	0,007525
12	MC-2#5/40	400	2#5	398	0,7	60	0,011608

## 4.5. ESQUEMAS DE REFUERZO

Tanto la distribución de las barras de refuerzo de GFRP en los muros mampostería de concreto, como las celdas rellenas con mortero de relleno, se muestran a continuación. De la Figura 4.2 a la Figura 4.7 corresponden a los muros ensayados a compresión diagonal. De la Figura 4.8 a la Figura 4.13 corresponden a los muros ensayados a cortante directo.

### 4.5.1. Muro MD-C

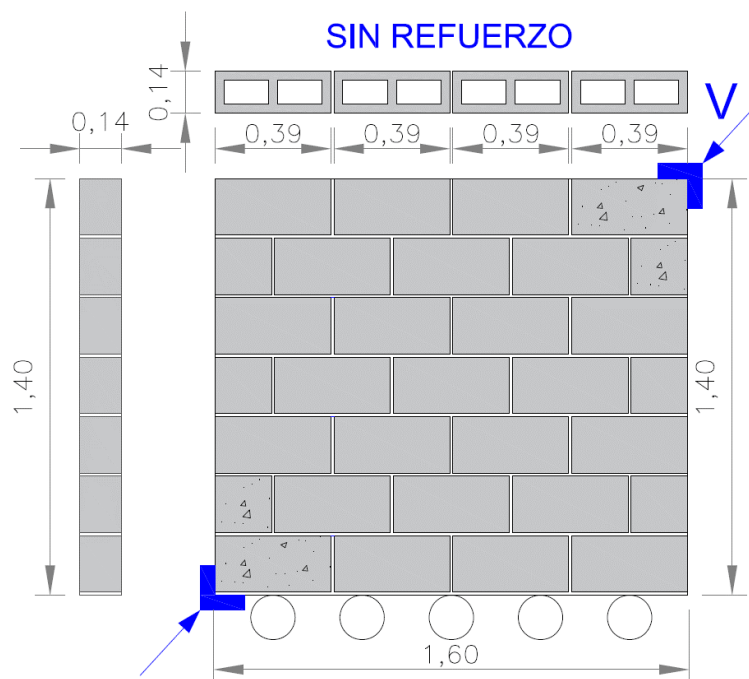


Figura 4.2 Configuración del muro MD-C

#### 4.5.2. Muro MD-1#5/140

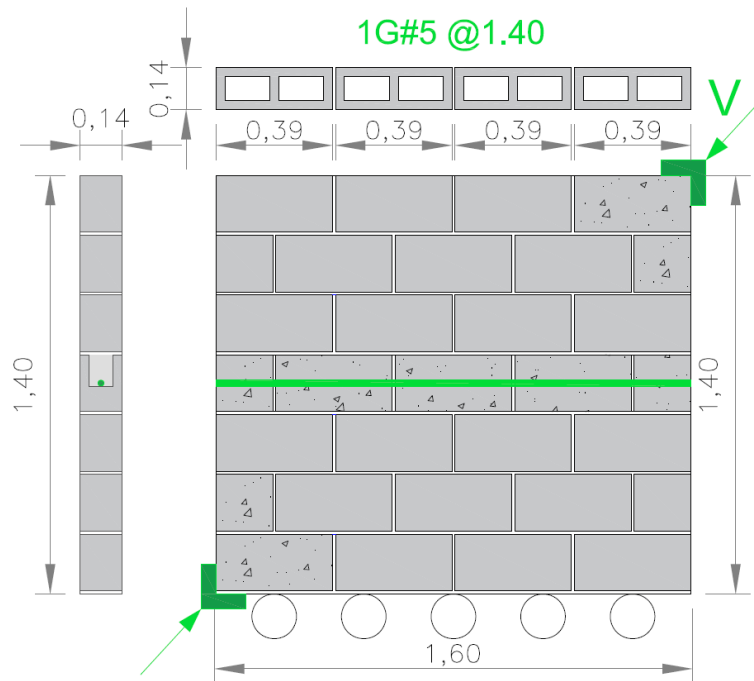


Figura 4.3 Configuración del refuerzo del muro MD-1#5/140

#### 4.5.3. Muro MD-1#5/60

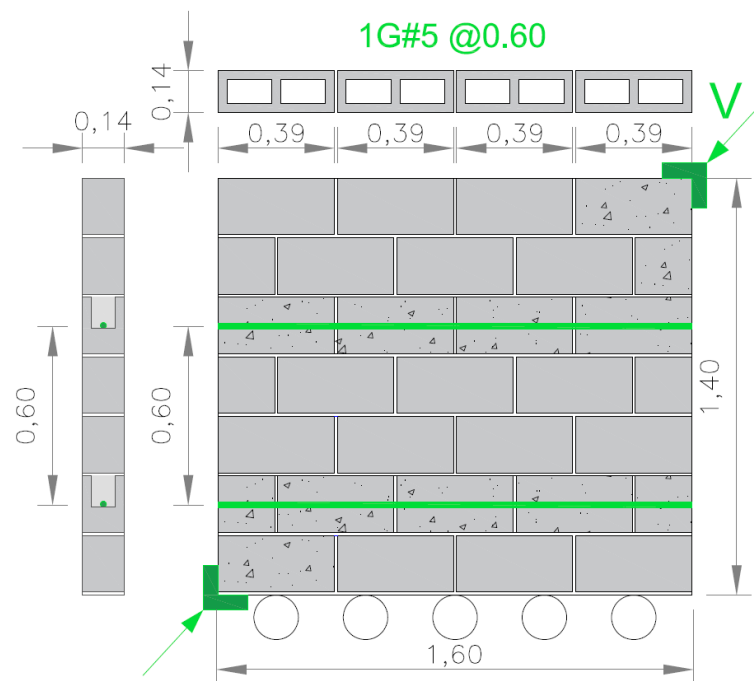


Figura 4.4 Configuración del refuerzo del muro MD-1#5/60

#### 4.5.4. Muro MD-2#4/60

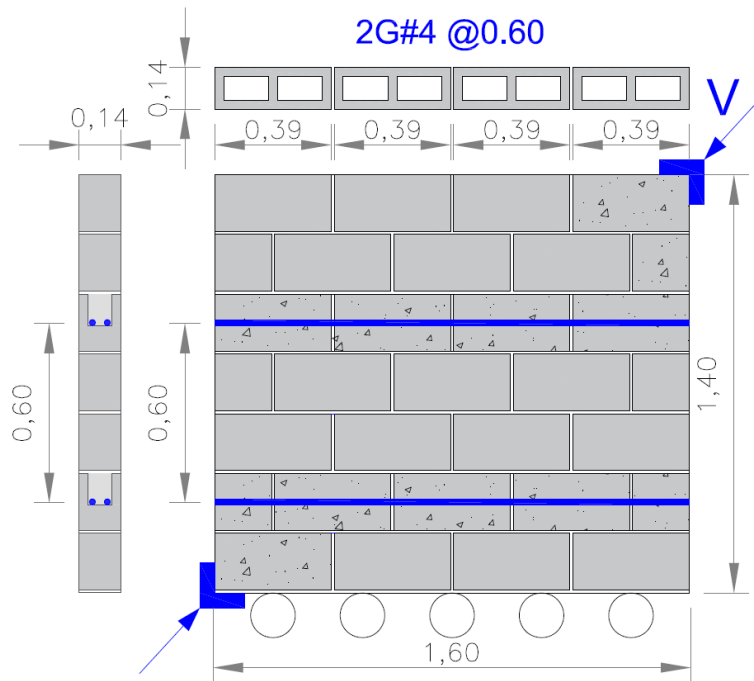


Figura 4.5 Configuración del refuerzo del muro MD-2#4/60

#### 4.5.5. Muro MD-2#4/40

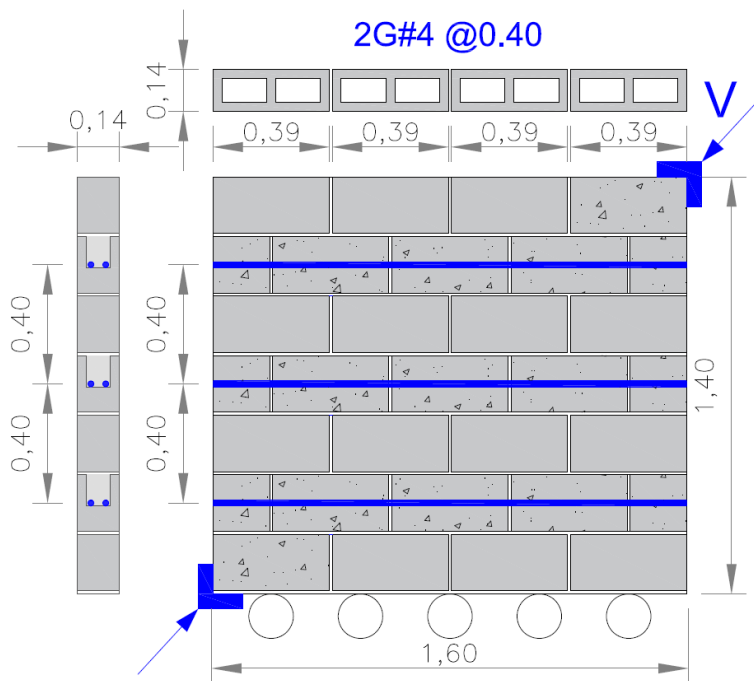


Figura 4.6 Configuración del refuerzo del muro MD-2#4/40

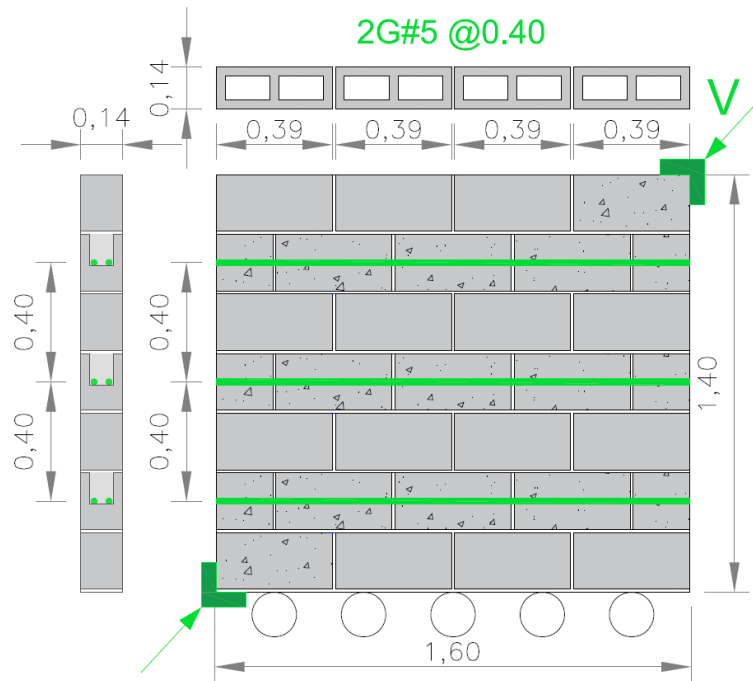
**4.5.6. Muro MD-2#5/40**

Figura 4.7 Configuración del refuerzo del muro MD-2#5/40

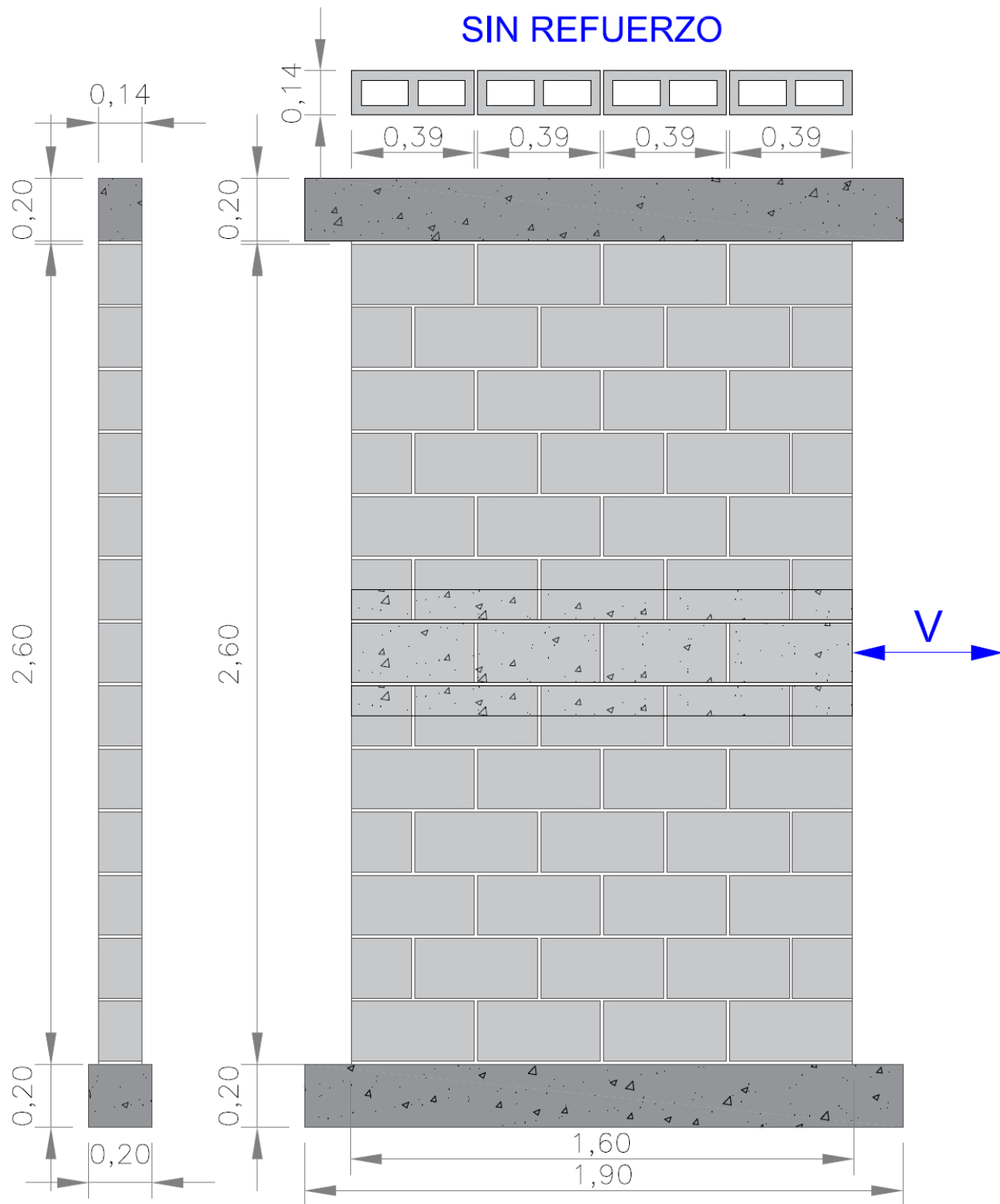
**4.5.7. Muro MC-C**

Figura 4.8 Configuración del muro MC-C



4.5.8. Muro MC-1#5/120

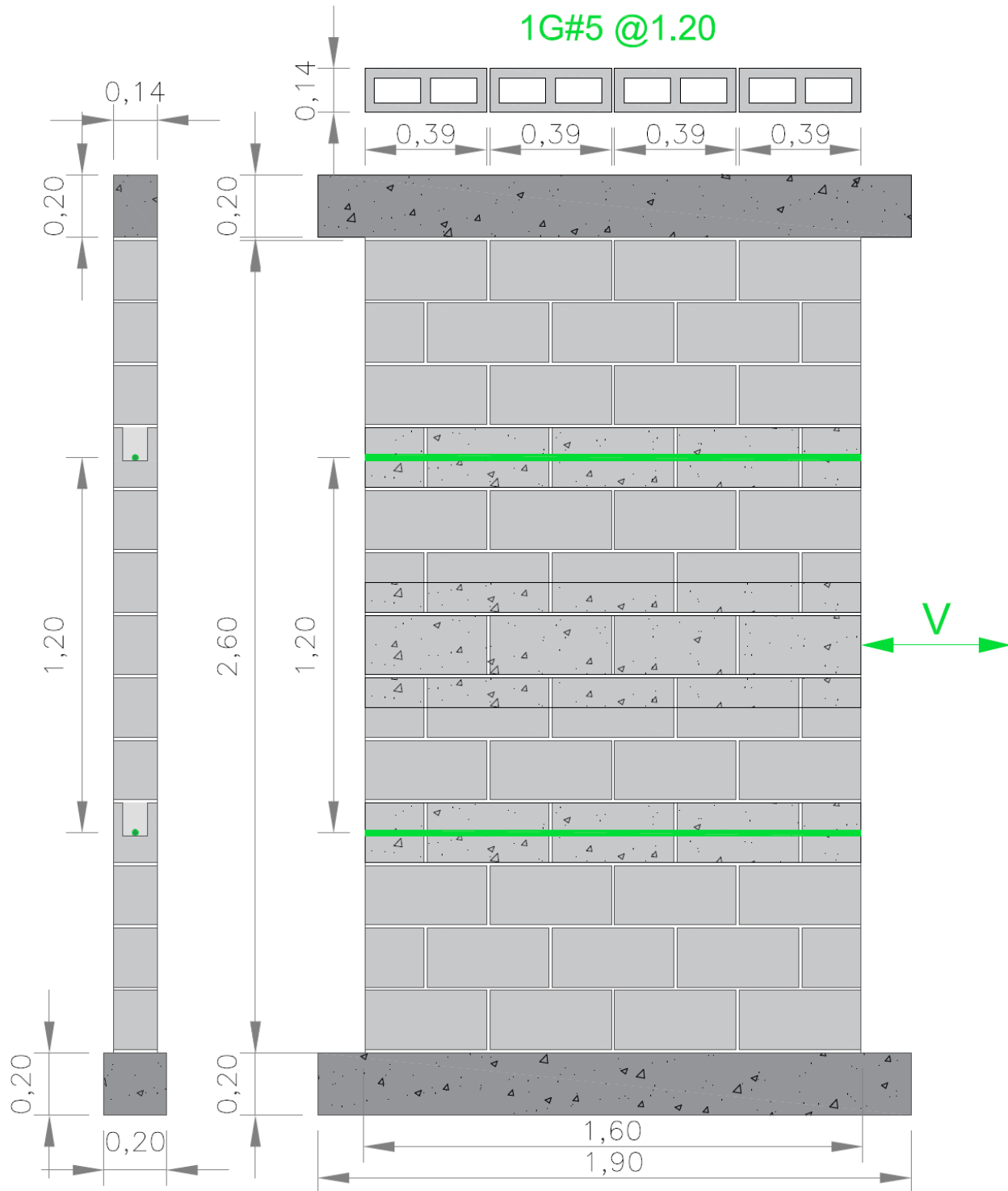


Figura 4.9 Configuración del refuerzo del muro MC-1#5/120

4.5.9. Muro MC-1#5/60

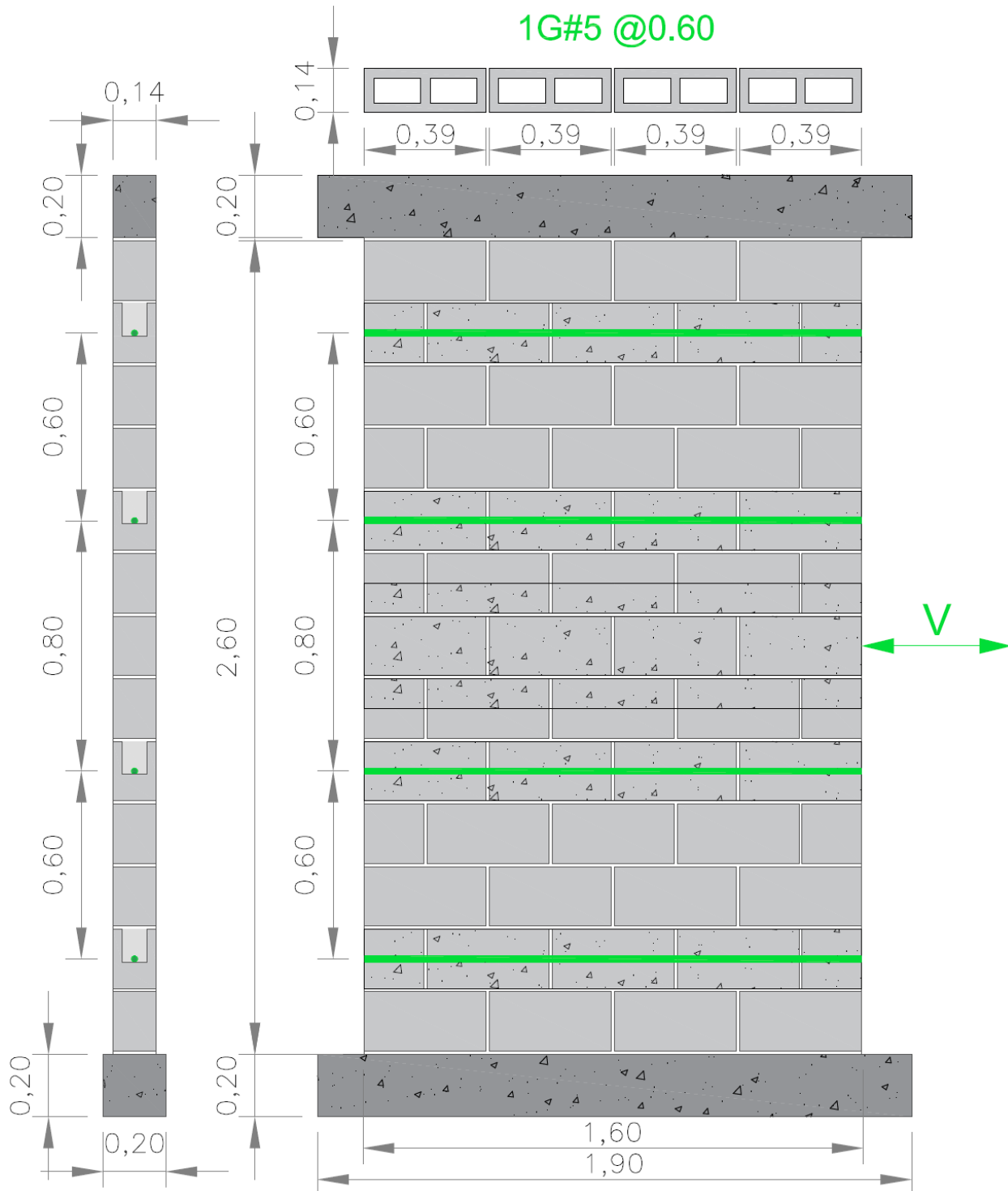


Figura 4.10 Configuración del refuerzo del muro MC-1#5/60

4.5.10. Muro MC-2#4/60

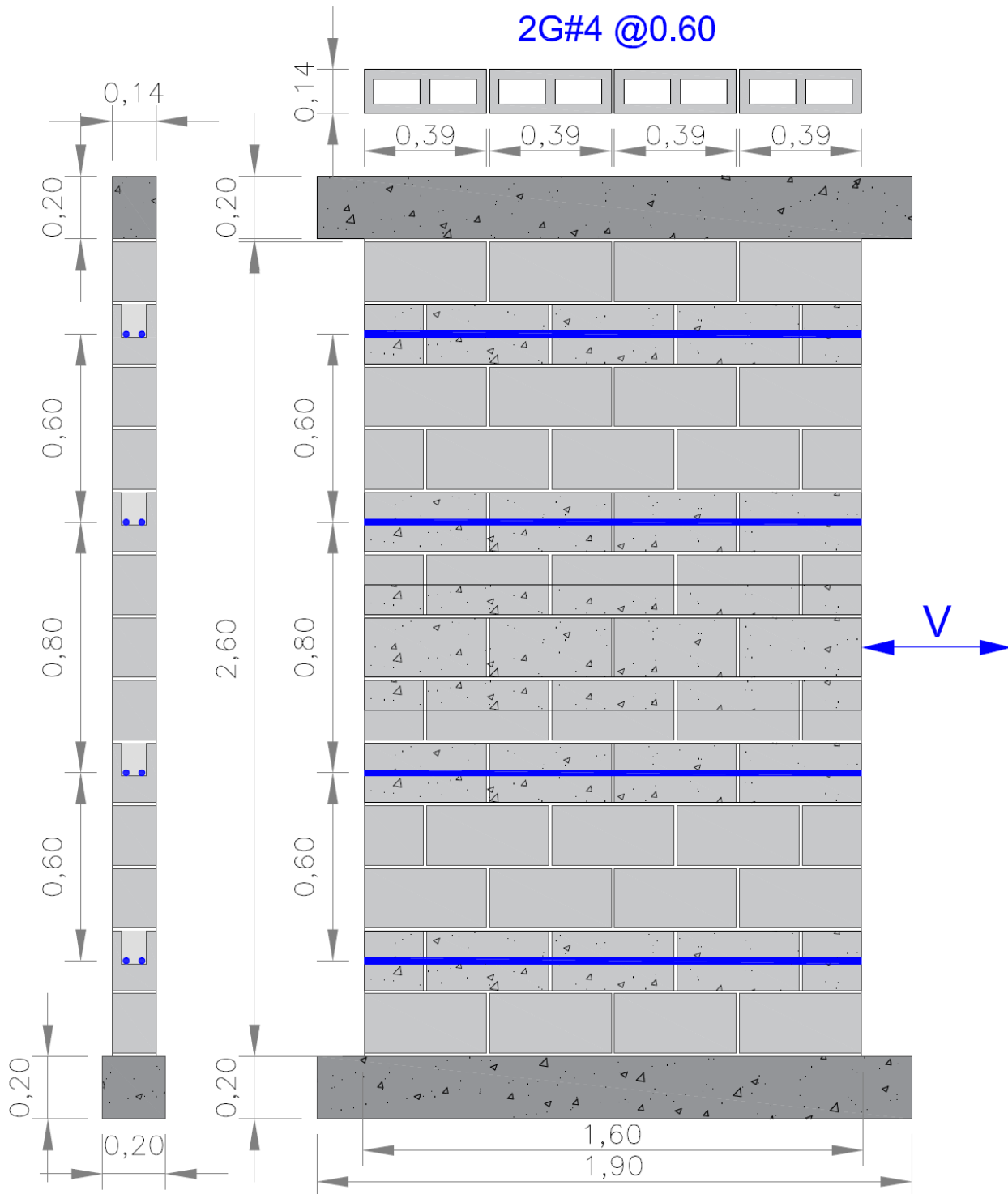


Figura 4.11 Configuración del refuerzo del muro MC-2#4/60

4.5.11. Muro MC-2#4/40

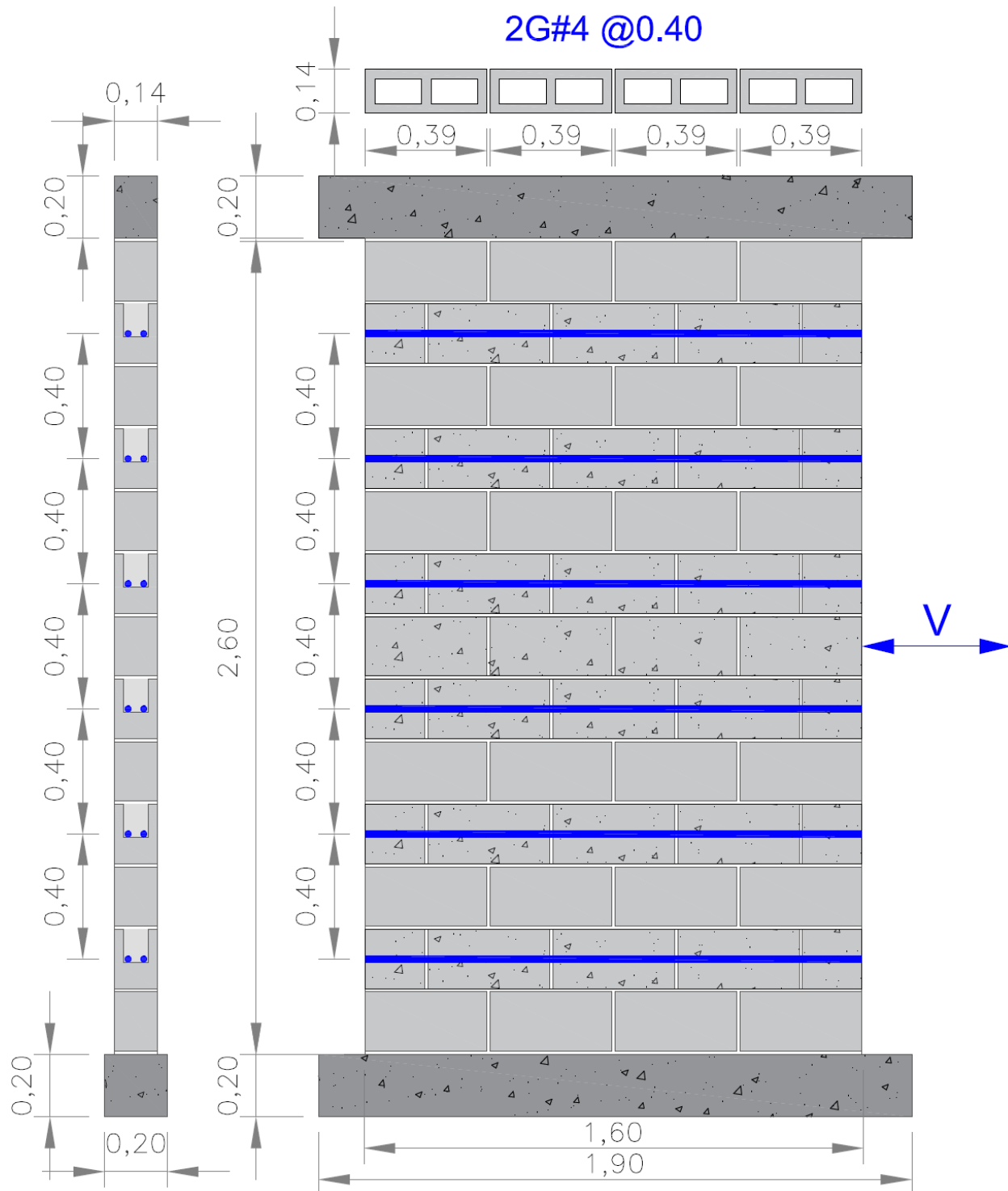


Figura 4.12 Configuración del refuerzo del muro MC-2#4/40

4.5.12. Muro MC-2#5/40

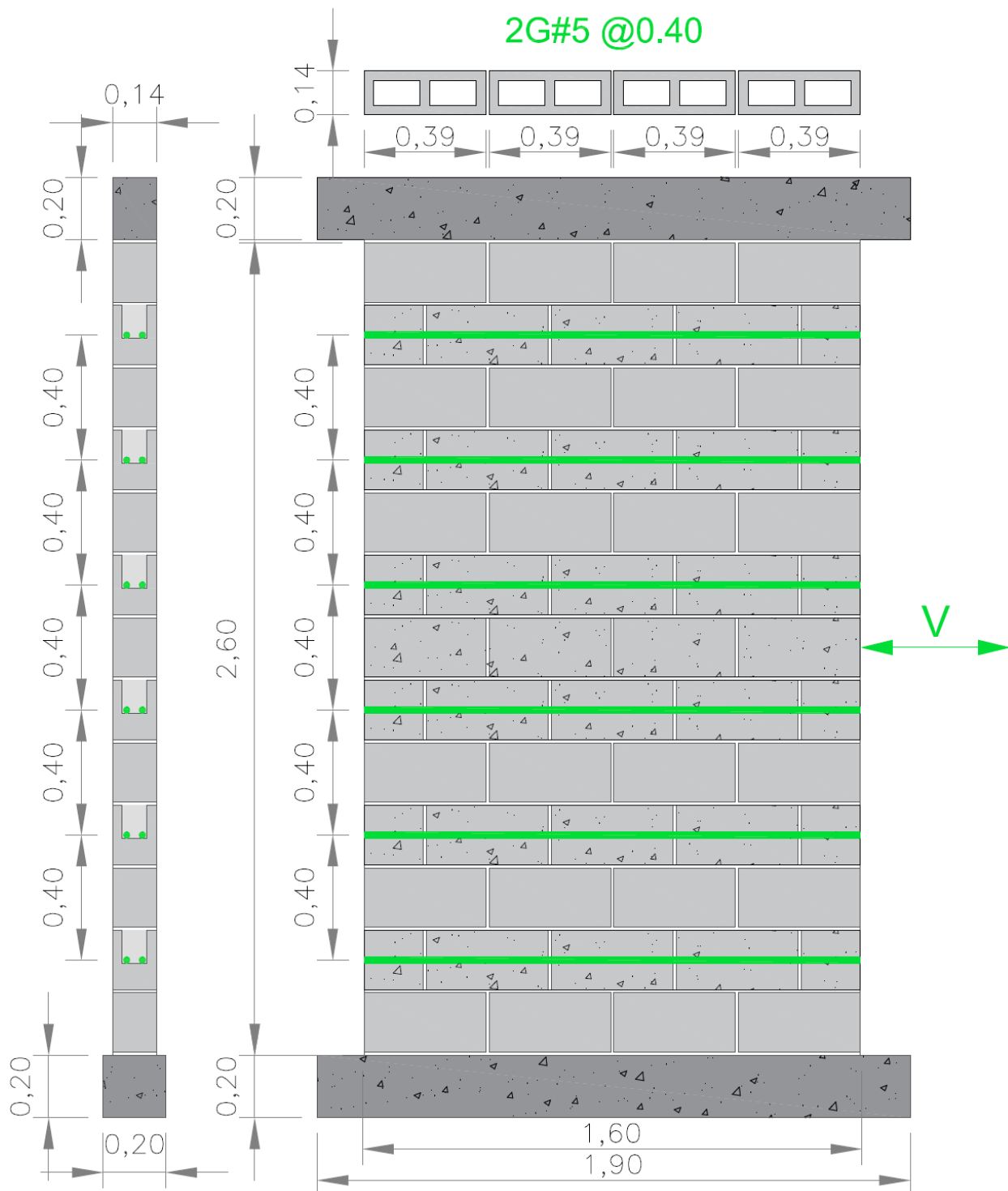


Figura 4.13 Configuración del refuerzo del muro MC-2#5/40

## 4.6. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Las propiedades de los materiales usados en la presente investigación se encuentran adjuntas en los anexos A. Mortero de pega, B. Mortero de relleno, C. Mampostería de concreto y D. Barras de GFRP. A continuación, se describirá el procedimiento utilizado para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales utilizados. Para la caracterización de los materiales se realizaron ensayos correspondientes a cada uno de ellos, en la Tabla 4.3 se presentan la cantidad de ensayos que se realizaron a cada material y las normas NTC y normas ASTM aplicables.

*Tabla 4.3 Ensayos de las normas ASTM y NTC para caracterizar los materiales*

<b>Ensayo</b>	<b>Norma ASTM/NTC</b>	<b>Cantidad</b>
Compresión cilindros de mortero de pega	ASTM C780/NTC 3546	30
Compresión cilindros mortero de relleno	ASTM C780/NTC 3546	29
Tensión en barras de FRP	ASTM D7205/NTC 6280	4

### ***4.6.1. Mortero de pega***

Para el muestreo y ensayo, se siguieron los parámetros indicados por la norma ASTM C780. De la mezcla utilizada para pegar las unidades de mampostería, se construyeron cilindros de 50 mm de diámetro, por 100 mm de altura y se evaluó resistencia a la compresión  $f'_{cp}$ . El montaje del ensayo a compresión de mortero de pega se muestra en la Fotografía 4.1.



*Fotografía 4.1 Montaje del ensayo de resistencia a la compresión en cilindros de mortero de pega*

#### **4.6.2. Mortero de relleno**

Para calcular la resistencia del mortero de relleno inyectado en las celdas de los muros de mampostería de concreto, se siguieron las indicaciones de la norma ASTM C780. De la mezcla utilizada para rellenar las celdas de las unidades de mampostería, se construyeron cilindros de 100 mm de diámetro, por 200 mm de altura y se evaluó la resistencia a la compresión  $f'_{cr}$ . El montaje del ensayo a compresión de mortero de relleno se muestra en la Fotografía 4.2.



*Fotografía 4.2 Montaje del ensayo de resistencia a la compresión en cilindros de mortero de relleno*

#### ***4.6.3. Mampostería de concreto***

Se utilizó los valores dados por el proveedor KREATO S.A.S. en su ficha técnica bloque de perforación vertical BE-14 y los resultados de los ensayos realizados en muretes por Otalora (2017) (Ver anexo C).

#### ***4.6.4. Barras de GFRP***

Los ensayos a tensión para las barras de GFRP se hicieron siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM D7205. Se utilizó mortero expansivo para garantizar la adherencia de las barras a los tubos metálicos que prensa la máquina para brindar un mejor agarre al momento del ensayo de caracterización, permitiendo fallar la barra en estudio. Las probetas para los ensayos tenían una longitud total de 1460 mm, los tubos metálicos de sus extremos tenían una longitud de 460 mm con diámetro nominal de  $\frac{3}{4}$ " y un espesor de 2.5 mm. El montaje del ensayo a tensión de las barras de GFRP se muestra en la Fotografía 4.3. y en que anexo D se encuentran los resultados de los ensayos.





*Fotografía 4.3 Montaje del ensayo de resistencia a la tensión en barras de GFRP*

#### **4.7. PROCESO CONSTRUCTIVO**

La construcción de los muros de mampostería de concreto reforzados a cortante con barras de GFRP, se realizó en el laboratorio de estructuras y materiales de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

A continuación, se presenta el proceso constructivo tanto para los muros que se van a ensayar a compresión diagonal, como los que se ensayaron a cortante directo.

##### ***4.7.1. Construcción de los muros ensayados a compresión diagonal***

Para el soporte de los muros de mampostería se construyeron unas camas de arena con cilindros de concreto, de sección transversal de 30 cm x 15 cm con una longitud de 1.90 m aproximadamente como se muestra en la Fotografía 4.4 y Fotografía 4.5.



*Fotografía 4.4 Armado de la cama de arena con cilindros de concreto*



*Fotografía 4.5 Acabado de la cama de arena para soporte de los muros de compresión diagonal*

Debido a que actualmente el mercado colombiano de mampostería de concreto no ofrece ladrillos tipo canaleta, fue necesario hacer las perforaciones y cortes de estos con discos de corte y taladros de perforación. El terminado final de los ladrillos se muestra en la Fotografía 4.6. Este acabado de los ladrillos es necesario para garantizar la colocación del refuerzo a cortante horizontalmente en el centro de una línea de unidades de mampostería.



a) Unidad de mampostería



b) Grupo de unidades

*Fotografía 4.6 Mampostería de concreto perforada*

De la Fotografía 4.7 a la Fotografía 4.13 se muestra el proceso constructivo para los muros ensayados a compresión diagonal.



*Fotografía 4.7 Relleno de la segunda hilada del muro MD-2#4/60*

Para formar las vigas de mampostería que llevan el refuerzo horizontal se utilizó láminas de icopor para sellar las celdas y de esta manera impedir que el mortero de relleno pasará a las celdas inferiores (ver Fotografía 4.7).





*Fotografía 4.8 Colocación de icopor para sellar las celdas de mampostería*



*Fotografía 4.9 Ubicación y nivelación de la hilera*



*Fotografía 4.10 Colocación de las barras de GFRP*



*Fotografía 4.11 Relleno de las celdas de mampostería con el mortero de relleno*



*Fotografía 4.12 Relleno de las celdas de esquina del muro*



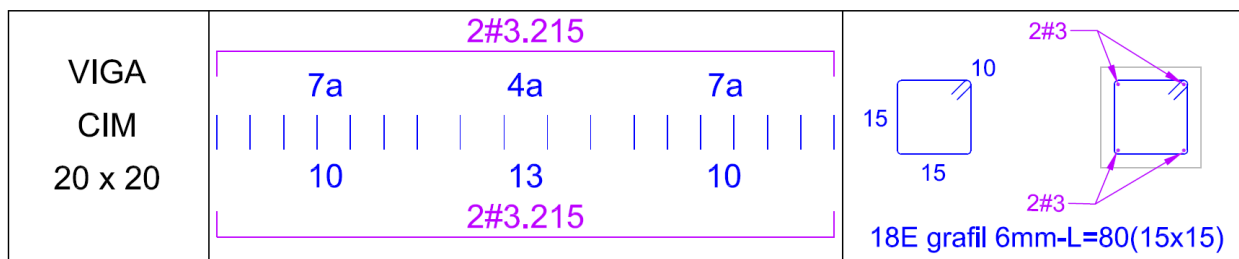
*Fotografía 4.13 Muro de mampostería para ensayo a compresión diagonal terminado*



Las 3 celdas de las esquinas opuestas de los muros se rellenaron con mortero para evitar el aplastamiento de las unidades de mampostería en contacto con los aditamentos de acero al momento del ensayo (ver Fotografía 4.12).

#### 4.7.2. Construcción de los muros ensayados con carga puntual ubicada a mitad de la altura

Para el soporte de los muros de mampostería se construyeron unas vigas de cimentación, de sección transversal de 20 cm x 20 cm con una longitud de 1.90 m. Estos elementos fueron construidos con concreto de 21 MPa de resistencia a la compresión. La configuración del refuerzo longitudinal y transversal se muestra en la [Figura 4.14](#) ~~Figura 4.14~~.



*Figura 4.14 Despiece de construcción de las vigas de cimentación*

Algunas de las etapas del proceso constructivo de las vigas de cimentación se presentan de la Fotografía 4.14 a la Fotografía 4.16.



*Fotografía 4.14 Armadura de acero de refuerzo de las vigas*



*Fotografía 4.15 Ubicación del refuerzo dentro de la formaleta y colocación del concreto*



*Fotografía 4.16 vibrado del concreto*



*Fotografía 4.17 Acabado de la superficie de las vigas*

Teniendo en cuenta que uno de los principales objetivos de la presente investigación fue evaluar el cortante puro, la primera hilada de unidades de mampostería se colocó apoyada directamente sobre la viga de concreto sin refuerzo de conexión, al igual que la última hilada, la cual no conecta con la viga superior.

De la Fotografía 4.18 a la Fotografía 4.23 se muestra el proceso constructivo para los muros ensayados a corte con carga puntual localizada a la mitad de la altura.





*Fotografía 4.18 Viga de cimentación del muro de mampostería con primera y segunda hilada*



*Fotografía 4.19 Colocación de las barras de GFRP en el muro de mampostería de concreto*



*Fotografía 4.20 Colocación del mortero de relleno en la hilada 2*



*Fotografía 4.21 Colocación del mortero de pega sobre la hilada 2*

Para formar las vigas de mampostería que llevan el refuerzo horizontal se utilizó láminas de icopor para sellar las celdas y de esta manera impedir que el mortero de relleno pasará a las celdas inferiores (ver Fotografía 4.22).



*Fotografía 4.22 Colocación de icopor para sellar las celdas de mampostería*

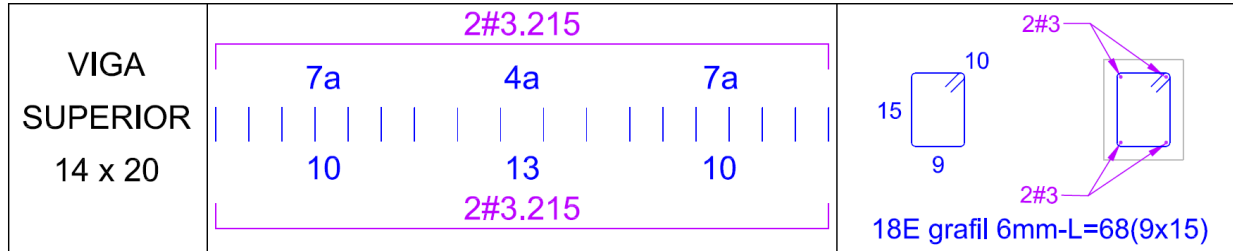
Ya que al momento del ensayo la carga es aplicada a la mitad de la altura fue necesario rellenar con mortero las celdas de las hiladas 6, 7 y 8 para garantizar que la aplicación de la carga no se concentrará en un solo punto y el muro fallara por aplastamiento localizado ni se presentara deslizamiento horizontal entre las unidades anexas a la zona de aplicación de la carga y lograr que la carga se transmitiera a todo el muro.



*Fotografía 4.23 Elaboración de la viga superior sobre el muro de mampostería*

Para rematar los muros se construyeron unas vigas superiores, de sección transversal de 14 cm x 20 cm con una longitud de 1.90 m. El ancho de la viga se dejó del mismo ancho del muro para facilitar la colocación de la formaleta y la longitud de la viga que es 30 cm más larga que el muro, para sujetarla 15 cm a cada lado en el montaje y garantizar de esta manera un empotramiento. Estos elementos fueron construidos con concreto de 21 MPa de resistencia a la

compresión. La configuración del refuerzo longitudinal y transversal se muestra en la Figura 4.15.

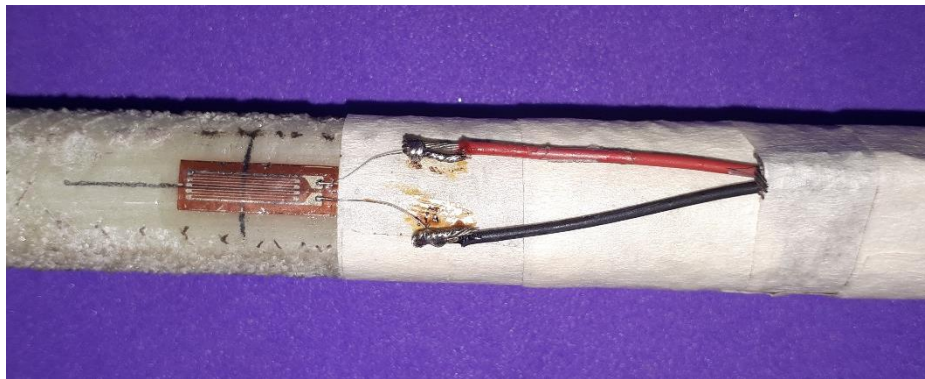


*Figura 4.15 Despiece de construcción de las vigas superiores*

## 4.8. INSTRUMENTACIÓN DE MUROS

### 4.8.1. Instrumentación interna de los muros

Con el fin de registrar las deformaciones a las que se verían sometidas las barras de refuerzo de GFRP instaladas dentro de los muros, estas se instrumentaron antes de su instalación mediante galgas (ver Fotografía 4.24) y se recubrieron para protegerlas durante la fundida del mortero de relleno como se muestra en la Fotografía 4.25.




*Fotografía 4.24 Instrumentación con galga de la barra de GFRP*





*Fotografía 4.25 Barra de GFRP instrumentada y protegida dentro del muro de mampostería*

Se instrumentaron únicamente los muros ensayados a cortante directo y la localización de las galgas dentro de los muros se puede ver en la  Figura 4.16 con el símbolo . El espécimen de control MC-C debido a que no tiene barras de refuerzo no se instrumentó internamente.

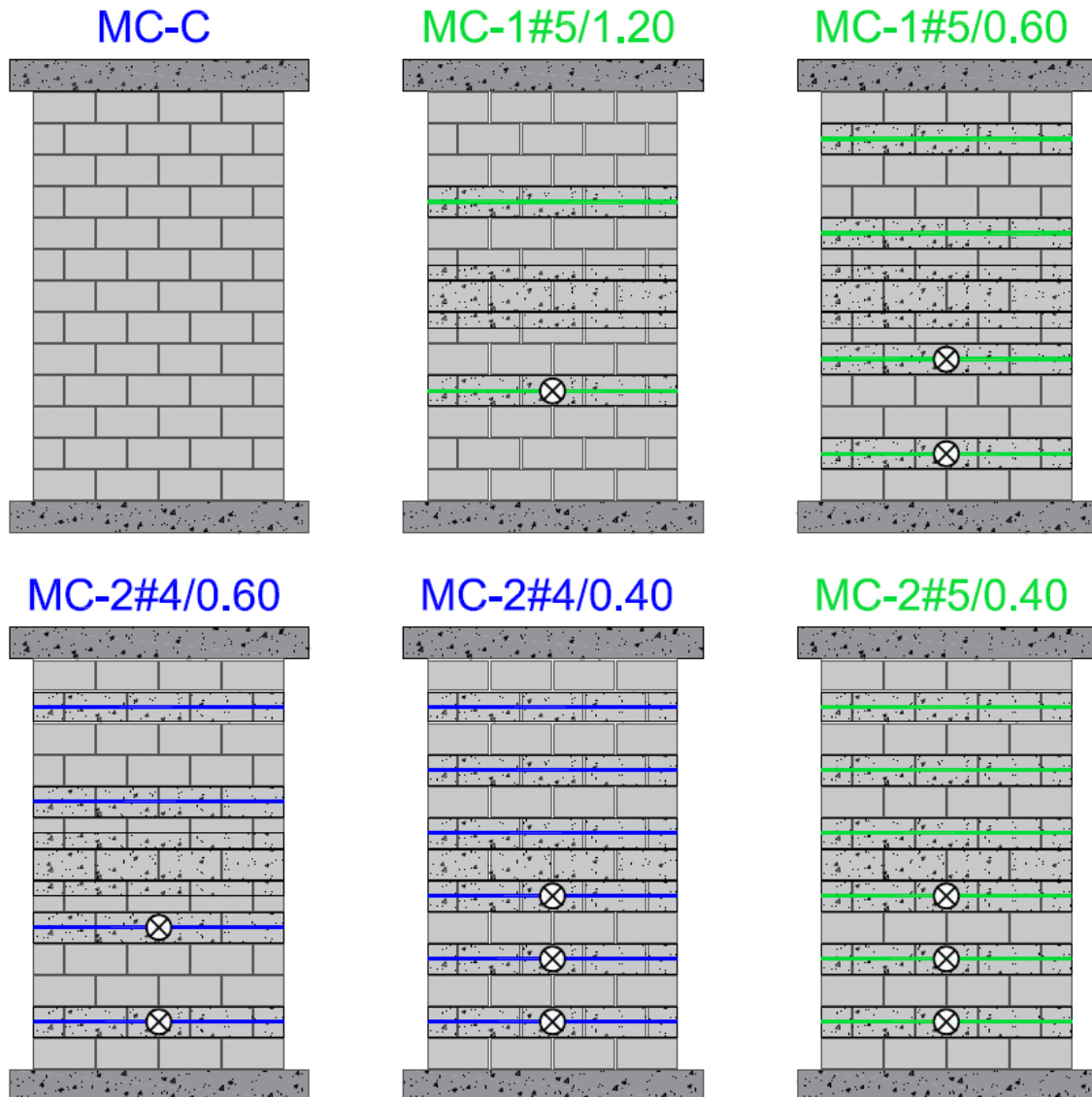


Figura 4.16 Localización de las galgas dentro de los muros

#### 4.8.1. Instrumentación externa de los muros ensayados a compresión diagonal

Los muros ensayados a compresión diagonal se instrumentaron externamente por su cara frontal y posterior, mediante deformímetros mecánicos, en diagonal siguiendo una línea de corte aproximadamente a  $45^\circ$ , con el fin de registrar las deformaciones a tensión y a compresión, la longitud de ensayo fue de 80 cm; dicha instrumentación se presenta en el esquema de la Figura 4.17

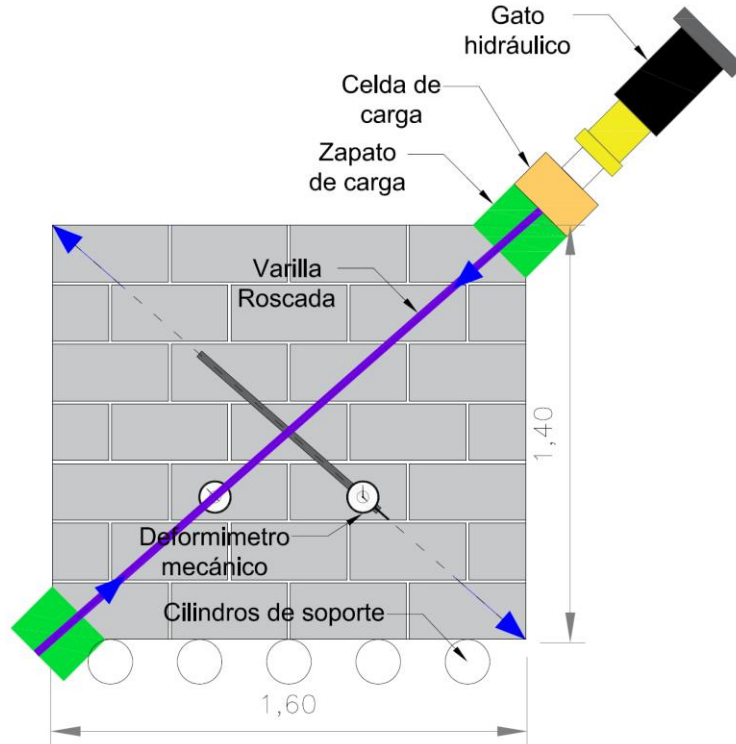
#### ***4.8.2. Instrumentación externa de los muros ensayados a corte directo***

Los muros ensayados a corte directo se instrumentaron externamente por su cara frontal y posterior, mediante transductores de desplazamiento, LVDT, en diagonal siguiendo una línea de corte aproximadamente a  $45^\circ$ , con el fin de registrar las deformaciones unitarias en ellos durante el proceso de ensayo, la longitud de ensayo fue de 80 cm; igualmente por la cara lateral sometida a tensión, se realizó la correspondiente instrumentación, mediante transductores de desplazamiento, LVDT, uno localizado a 10 cm del borde inferior contra el apoyo, y otro ubicado en el centro del muro; con el fin de registrar los desplazamientos a medida que se aplicaba la carga; dicha instrumentación se presenta en el esquema de la Figura 4.18. Adicionalmente se colocó un LVDT en el marco de prueba con el fin de registrar su deformación al momento de la prueba.

### **4.9. MONTAJE PARA LOS ENSAYOS**

#### ***4.9.1. Montaje para los ensayos a compresión diagonal***

Para la aplicación de la carga de compresión diagonal, se colocaron dos aditamentos de acero en las esquinas opuestas del muro, conectados mediante dos varillas roscadas de acero de alta resistencia ubicadas en ambos lados del muro. La carga se aplicó por medio de un gato hidráulico que se instaló en una de las esquinas superiores. La carga diagonal medida por una celda de carga se aplicó constantemente a través de las dos varillas hasta alcanzar la falla. Simultáneamente se registraba las deformaciones a tensión y a compresión medidas por los deformímetros mecánicos. El esquema del montaje se puede observar en la Figura 4.17 y el montaje real en la Fotografía 4.26.



*Figura 4.17 Montaje para los ensayos a compresión diagonal*



*Fotografía 4.26 Montaje para los ensayos a compresión diagonal*



#### ***4.9.2. Montaje para los ensayos a cortante directo con carga aplicada a mitad de la altura***

El montaje para los ensayos de cortante directo se hizo con base a una adaptación del montaje utilizado en los muros ensayados en la universidad de Perugia en Italia (Borri et al., 2015). Los especímenes grandes se colocaron en el montaje sobre el marco de reacción de carga del laboratorio de materiales de la Escuela Colombiana de ingeniería y, en primer lugar, se sometieron al nivel deseado de compresión para impedir que giraran o se desplazaran las vigas, y de esta manera garantizar un empotramiento. Adicionalmente, las vigas se aseguraron al marco en la parte inferior y superior mediante unas platinas y varillas roscadas de alta resistencia y en la parte inferior derecha se colocó un tope de acero asegurado al marco para impedir el desplazamiento de la viga inferior. La carga se aplicó a la mitad de la altura del muro por medio de un gato hidráulico que se ancló a una de las columnas del marco. La carga se iba midiendo por medio de una celda de carga y las deformaciones se registraron con ayuda de LVDT's o deformímetros mecánicos. El esquema del montaje se puede observar en la Figura 4.18 y el montaje real en la Fotografía 4.27.

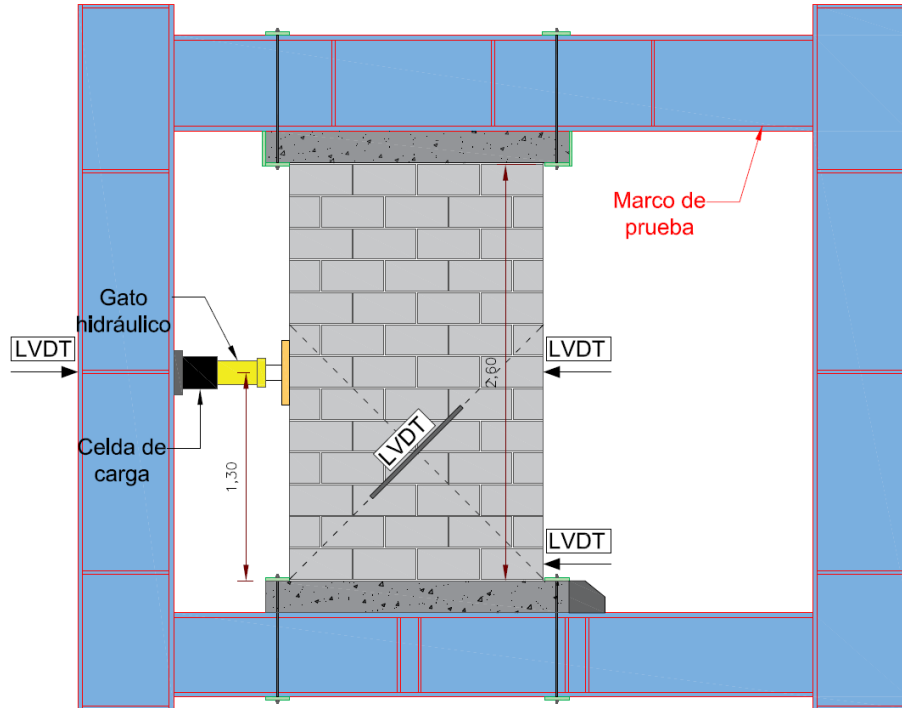


Figura 4.18 Montaje para los ensayos a corte directo



Fotografía 4.27 Montaje para los ensayos a corte directo

### ***4.9.3. Aplicación de carga***

Para los muros ensayados a compresión diagonal, inicialmente se les aplicó una precarga de 5.0 kN y luego se cargaron hasta la falla. Con base en estos resultados, se ejecutó el siguiente protocolo de carga para ensayar los muros grandes a cortante directo donde se preveía que resistieran 1.5 veces la capacidad de los muros ensayados a compresión diagonal. La base del protocolo fue la carga máxima estimada y se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. Cargar el muro al 25% de su resistencia admisible esperada.
2. Descargar el muro al 5% de su resistencia admisible esperada.
3. Cargar el muro al 50% de su resistencia admisible esperada.
4. Descargar el muro al 5% de su resistencia admisible esperada.
5. Cargar el muro al 75% de su resistencia admisible esperada.
6. Descargar el muro al 5% de su resistencia admisible esperada.
7. Cargar el muro al 100% de su resistencia admisible esperada.
8. Descargar el muro al 5% de su resistencia admisible esperada.
9. Cargar el muro al 110% de su resistencia admisible esperada.
10. Cargar el muro hasta llegar a la falla.

Siguiendo el protocolo de carga se hicieron los ensayos a cada uno de los muros; sus capacidades experimentales y modos de falla, se presentan en el siguiente capítulo.

## 5. RESULTADOS

Una vez se logró ejecutar con éxito todo el programa experimental que se describió en detalle en el capítulo 4 de este documento, se procedió a realizar el procesamiento de los datos capturados en la ejecución de los ensayos e inspección de las fallas presentadas tanto de los materiales individuales como de los especímenes de prueba. En este capítulo se presentan los resultados de los ensayos realizados.

### 5.1. RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

#### 5.1.1. Mortero de Pega

Los resultados de los ensayos a la compresión en cilindros de mortero, para verificar la resistencia de los morteros de pega utilizados en los muros construidos, fue de  $f'_{cp}$  igual a 12.6 MPa para los muros de compresión diagonal y de 19.0 MPa para los muros de cortante directo, los resultados detallados se presentan en el Anexo A de este documento. La Fotografía 5.1 muestra el ensayo de uno de los cilindros de mortero de pega. La Fotografía 5.2 presenta los modos de falla obtenidos en los ensayos de compresión.



*Fotografía 5.1 Ensayo de resistencia a la compresión de un cilindro de mortero de pega*



*Fotografía 5.2 Modos de falla de los cilindros de mortero de pega en el ensayo de resistencia a la compresión para los muros de corte directo*

#### **5.1.2. Mortero de Relleno**

Los resultados de los ensayos a la compresión en cilindros de mortero, para verificar la resistencia de los morteros de relleno utilizados en los muros construidos, fue de  $f'_{cr}$  igual a 11.3 MPa para los muros de compresión diagonal y de 17.4 MPa para los muros de cortante directo, los resultados detallados se presentan en el Anexo B de este documento. La Fotografía 5.3 muestra el ensayo de uno de los cilindros de mortero de pega. La Fotografía 5.4 presenta los modos de falla obtenidos en los ensayos de compresión.



*Fotografía 5.3 Ensayo de resistencia a la compresión de un cilindro de mortero de relleno*



*Fotografía 5.4 Modos de falla de los cilindros de mortero de relleno en el ensayo de resistencia a la compresión para los muros de corte directo*

### **5.1.3. Mampostería de concreto**

Las propiedades mecánicas de las unidades de mampostería de concreto utilizadas en el desarrollo de este proyecto se presentan en el Anexo C de este documento y corresponden a los valores reportados por el fabricante KREATO S.A.S. en la hoja técnica de dicho producto.

#### 5.1.4. Barras de GFRP

Los resultados de los ensayos de resistencia a la tensión en las barras de GFRP para verificar sus propiedades mecánicas, se presenta de forma detallada en el Anexo D de este documento. A manera de resumen en la Tabla 5.1 se presentan los valores representativos de las barras de GFRP obtenidos de los ensayos en 4 muestras, básicos para los cálculos correspondientes. De igual forma en la Tabla 5.2 se presentan los valores que ofrece el fabricante en su ficha técnica (ver Anexo E).

*Tabla 5.1 Propiedades mecánicas de las barras de GFRP ensayadas*

<b>Tamaño</b>	<b>Diámetro Efectivo (mm)</b>	<b>Área Efectiva (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Módulo de elasticidad (MPa)</b>	<b>Resistencia última a tensión (MPa)</b>	<b>Deformación última unitaria</b>
#4	13.59	145	55531	1029	0.0146
#5	17.22	232.9	54393	793	0.0185

*Tabla 5.2 Propiedades mecánicas de las barras de GFRP dadas por V-ROD*

<b>Tamaño</b>	<b>Diámetro Efectivo (mm)</b>	<b>Área Efectiva (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Módulo de elasticidad (MPa)</b>	<b>Resistencia última a tensión (MPa)</b>	<b>Deformación última unitaria</b>
#4	13.59	145	60000	1100	--
#5	17.22	232.9	60000	1100	--

Debido a que los resultados de los ensayos realizados en las barras fueron menores a los que da la ficha técnica, en el presente informe se trabajó con los primeros de manera conservadora.

A continuación, se muestra el ensayo de una de las barras de GFRP en la Fotografía 5.5 y los modos de falla obtenidos en los ensayos de tensión se presentan en la Fotografía 5.6.





*Fotografía 5.5 Ensayo de resistencia a la tensión en barras de GFRP*



*Fotografía 5.6 Modos de falla de las barras de GFRP en el ensayo de resistencia a la tensión*

## **5.2. RESULTADOS DE LOS MUROS ENSAYADOS A COMPRESIÓN DIAGONAL**

### ***5.2.1. Capacidad de carga***

La carga máxima resistida por cada uno de los muros ensayados a compresión diagonal se presenta en la Tabla 5.3. En el anexo F se muestran los cálculos detallados. Los resultados evidencian que el refuerzo a cortante con barras de GFRP contribuyen en el aumento de la capacidad de carga máxima de los muros y está relacionada con el incremento en la cuantía de refuerzo a cortante. También, se puede observar que los muros reforzados alcanzaron resistencias

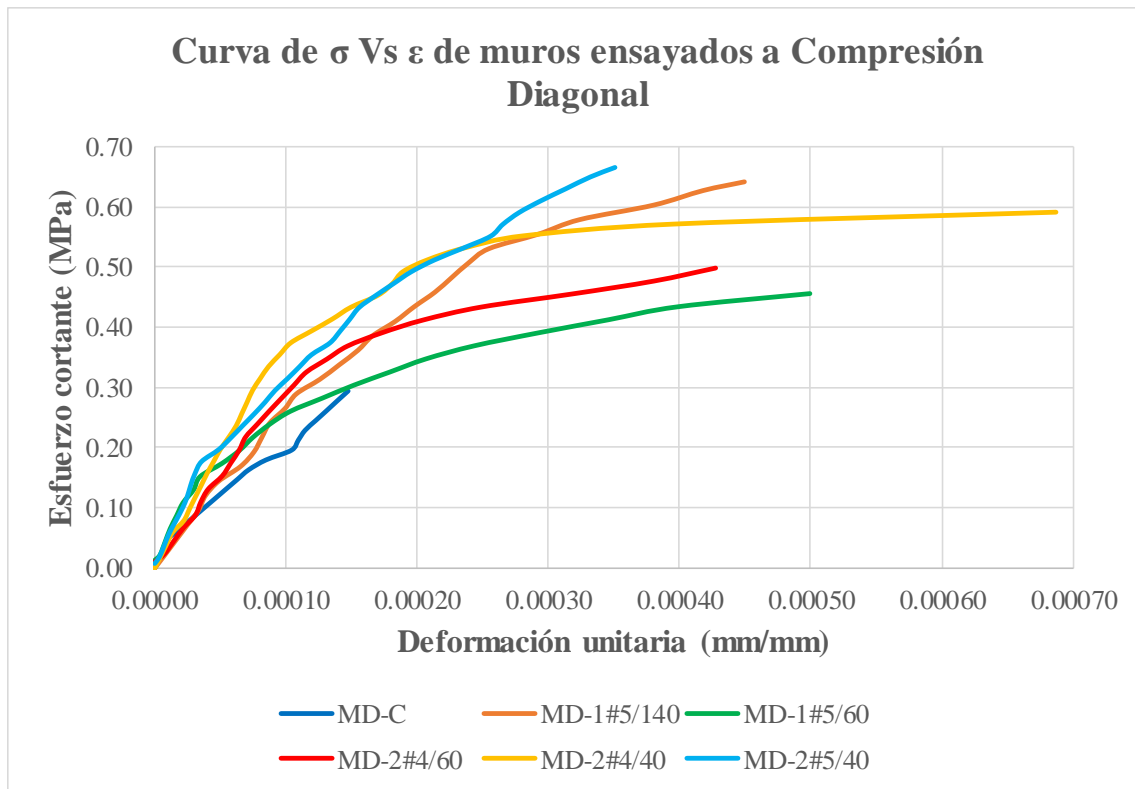


superiores a 2 veces la alcanzada por el muro de control MD-C. Los muros MD-1#5/60 y MD-2#4/60 alcanzaron resistencias similares de 194% y 213% respecto al muro de control, aunque tenían diferentes cuantías (0.003869 y 0.005017), tenían la misma separación de refuerzo. Lo mismo se evidenció en los muros MD-2#4/40 y MD-2#5/40 que alcanzaron resistencias de 285% y 313% respectivamente en relación al muro de control con cuantías de 0.007525 y 0.011608.

*Tabla 5.3 Resumen de los muros ensayados a compresión diagonal*

Nomenclatura	Dimensiones BxH (mm x mm)	Fecha fabricación (dd/mm/aaaa)	Fecha Ensayo (dd/mm/aaaa)	Edad (días)	Cortante Último (kg)	Cortante Último (kN)	% Ref. Muro Control
MD-C	1600x1400	21/11/2018	19/12/2018	28	4710	46.21	100%
MD-1#5/140	1600x1400	21/11/2018	19/12/2018	28	11601	113.81	246%
MD-1#5/60	1600x1400	22/11/2018	17/01/2019	56	9159	89.85	194%
MD-2#4/60	1600x1400	22/11/2018	20/12/2018	28	10031	98.40	213%
MD-2#4/40	1600x1400	23/11/2018	19/12/2018	26	13433	131.77	285%
MD-2#5/40	1600x1400	23/11/2018	20/12/2018	27	14741	144.61	313%

La Figura 5.1 presenta en las ordenadas el esfuerzo cortante resistido por los muros ensayados a compresión diagonal y las abscisas, la deformación unitaria promedio por las dos caras. Se puede observar que la resistencia a cortante aumenta conforme aumenta la cuantía de refuerzo. El muro MD-C que no tiene refuerzo se comportó casi linealmente hasta la falla y luego fallo repentinamente, como era de esperarse es el que menor esfuerzo de cortante resistió (0.294 MPa) y desarrollo una menor deformación unitaria (0.000147). Los muros reforzados dieron resultados de resistencia al corte más altos en comparación al muro de control MD-C. Los muros MD-1#5/60 y MD-2#4/60 experimentaron esfuerzos de cortante similares (0.456 y 0.499 MPa respectivamente) y deformaciones unitarias parecidas (0.000500 y 0.000428). Los muros MD-1#5/140 y MD-2#4/40 experimentaron esfuerzos de cortante similares (0.642 y 0.666 MPa respectivamente).



*Figura 5.1 Curva de esfuerzo cortante vs deformación unitaria de los muros ensayados a compresión diagonal*

### 5.2.2. Módulo de rigidez a cortante

En la Tabla 5.4 se presentan los valores del módulo de cortante  $G$ . En este trabajo se calcula el módulo de cortante con base en una rigidez secante obtenida de la curva esfuerzo cortante vs deformación unitaria ( $\tau-\gamma$ ); esta rigidez secante se calcula con dos puntos de dicha curva definidos como el esfuerzo cortante correspondiente al 40% de la carga máxima ( $S_{S2}$ ) y el esfuerzo cortante correspondiente al 0.00005 de la deformación unitaria ( $S_{S1}$ ).

$$G = \frac{T_2 - T_1}{\gamma_2 - 0.00005} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde  $\gamma_2$  es la deformación unitaria producida por el esfuerzo cortante  $T_2$ .

*Tabla 5.4 Determinación del módulo de rigidez de los muros de compresión diagonal*

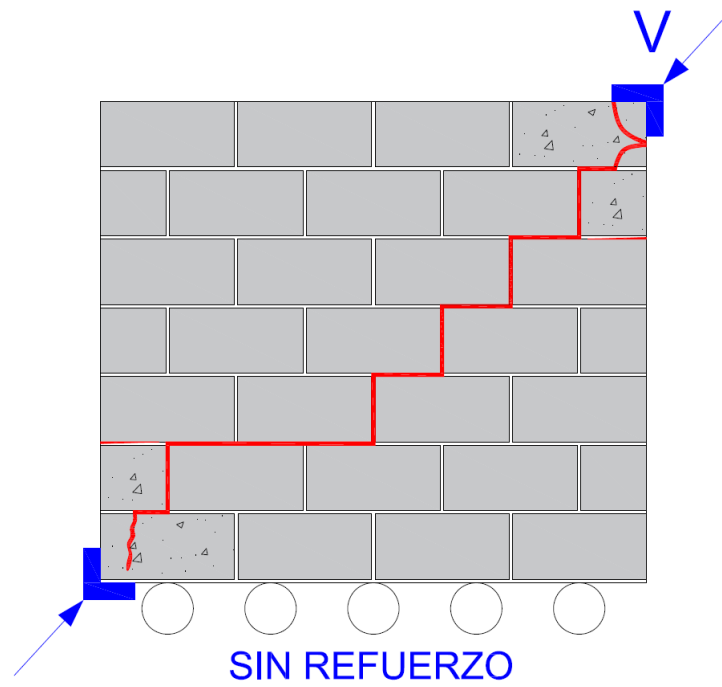
<b>Espécimen</b>	<b>P<sub>40%</sub> (kg)</b>	<b>Ss<sub>2</sub> (MPa)</b>	<b>Ss<sub>1</sub> (MPa)</b>	<b><math>\gamma_2</math> (mm/mm)</b>	<b><math>\gamma_1</math> (mm/mm)</b>	<b>G (MPa)</b>
MD-C	1884	0.117	0.123	0.000047	0.000050	1877
MD-1#5/140	4640	0.257	0.146	0.000095	0.000050	2439
MD-1#5/60	3663	0.182	0.172	0.000056	0.000050	1562
MD-2#4/60	4012	0.200	0.149	0.000065	0.000050	3276
MD-2#4/40	5373	0.243	0.197	0.000063	0.000050	3396
MD-2#5/40	5896	0.266	0.200	0.000080	0.000050	2217

Los valores del módulo de cortante variaron de 1562 a 3396 MPa, con un valor promedio de 2461 MPa.

### ***5.2.3. Modos de falla de los especímenes ensayados a compresión diagonal***

#### ***5.2.3.1. Modo de falla Muro MD-C***

El modo de falla que se presentó fue por tensión diagonal en juntas, se produce por la falla por adherencia bloque-mortero, su trayectoria es en forma escalonada aproximadamente al centro del muro como se observa en la Figura 5.2. Esta es la falla típica de la mampostería sometida a corte donde se sigue una trayectoria en diagonal, pero al encontrar una zona frágil (las juntas de mortero), se genera la falla en diagonal a través de ellas.



*Figura 5.2 Fisuración y modo de falla del muro MD-C*



*Fotografía 5.7 Fisuras en la cara frontal del muro MD-C*



*Fotografía 5.8 Fisuras en la cara posterior del muro MD-C*



*Fotografía 5.9 Fisuras de la parte inferior izquierda en la cara frontal*



*Fotografía 5.10 Fisuras de la parte superior derecha en la cara frontal*





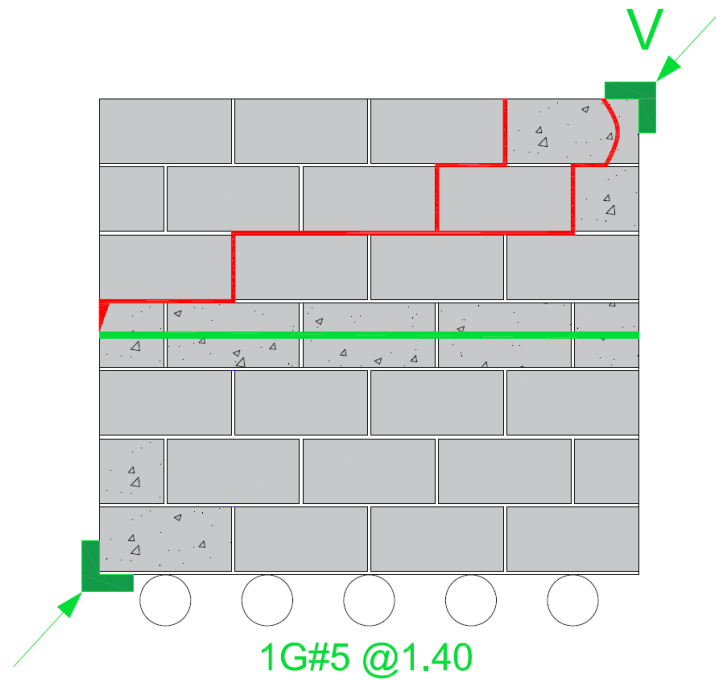
*Fotografía 5.11 Fisuras de la parte central de la cara frontal*



*Fotografía 5.12 Desplazamiento horizontal de aproximadamente 2 cm/*

#### **5.2.3.2. Modo de falla Muro MD-1#5/140**

El modo de falla que se presentó fue por deslizamiento en las hiladas 5 y 6. Sobre las hiladas 5, 6 y 7 también se presentó una falla por tensión en las juntas entre bloques de mampostería como se evidencia en la Figura 5.3. No se siguió en su totalidad el mismo patrón de falla exhibido por el muro sin refuerzo, dado que se encontraba con zonas de mayor rigidez (celdas con barras de refuerzo horizontales y mortero de relleno en la hilada 4), por lo cual para presentarse la falla se incrementó la resistencia, terminando por presentarse la falla a lo largo del plano horizontal.



*Figura 5.3 Fisuración y modo de falla del muro MD-1#5/140*



*Fotografía 5.13 Fisuras en la cara frontal del muro MD-1#5/140*



*Fotografía 5.14 Fisuras de la parte superior izquierda en la cara frontal*



*Fotografía 5.15 Fisuras de la parte superior derecha en la cara frontal*



*Fotografía 5.16 Desplazamiento horizontal de aproximadamente 9 cm*

### **5.2.3.3. Modo de falla Muro MD-1#5/60**

El modo de falla que se presentó fue por deslizamiento entre las hiladas 5 y 6. Adicionalmente, sobre las hiladas 6 y 7 también se presentó una falla por tensión en las juntas entre bloques de mampostería como se muestra en Figura 5.4. Debido a que se encontraba con zonas de mayor rigidez (celdas con barras de refuerzo horizontales y mortero de relleno en las hiladas 2 y 5), no se presentó el mismo patrón de falla en diagonal escalonada exhibido por el muro sin refuerzo, por lo cual para presentarse la falla se incrementó la resistencia, terminando por presentarse la falla a lo largo del plano horizontal sobre la hilada 5.



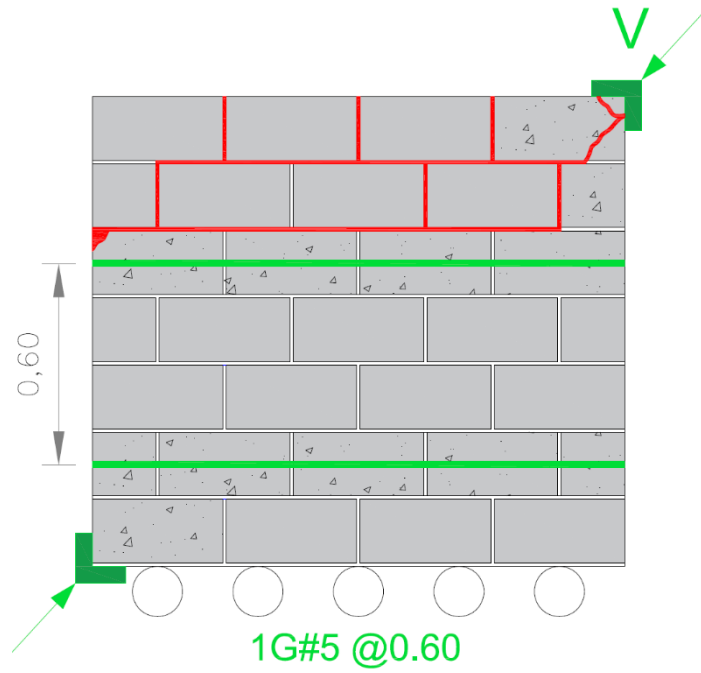


Figura 5.4 Fisuración y modo de falla del muro MD-1#5/60



Fotografía 5.17 Fisuras en la cara frontal del muro MD-1#5/60



*Fotografía 5.18 Fisuras en la cara posterior del muro MD-1#5/60*



*Fotografía 5.19 Fisuras de la parte superior izquierda en la cara frontal*



*Fotografía 5.20 Fisuras de la parte superior derecha en la cara frontal*



*Fotografía 5.21 Fisuras de la parte superior izquierda en la cara posterior*



*Fotografía 5.22 Fisuras de la parte superior derecha en la cara posterior*

#### **5.2.3.4. Modo de falla Muro MD-2#4/60**

El modo de falla que se presentó fue por tensión diagonal en juntas sobre las hiladas 1, 3, 4 y 6 (que son las zonas menos rígidas del muro al no tener celdas con mortero de relleno ni barras de refuerzo). Sobre las hiladas 2 y 5 donde están localizadas las barras de refuerzo se presentó fisuras en los bloques de mampostería, ya que no se podía presentar tensión en las juntas por la contribución del refuerzo por mantener las juntas cerradas. Su trayectoria es en forma escalonada aproximadamente al centro del muro como se puede observar en la Figura 5.5.

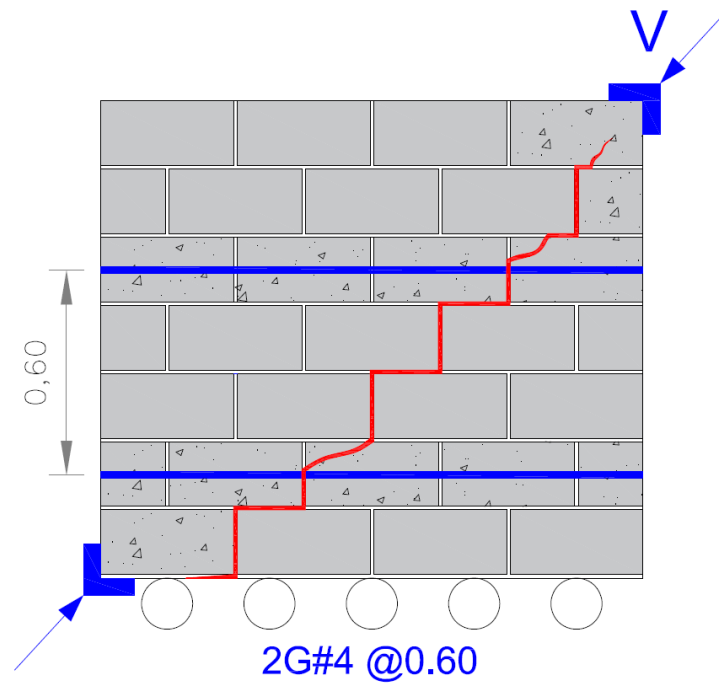


Figura 5.5 Fisuración y modo de falla del muro MD-2#4/60

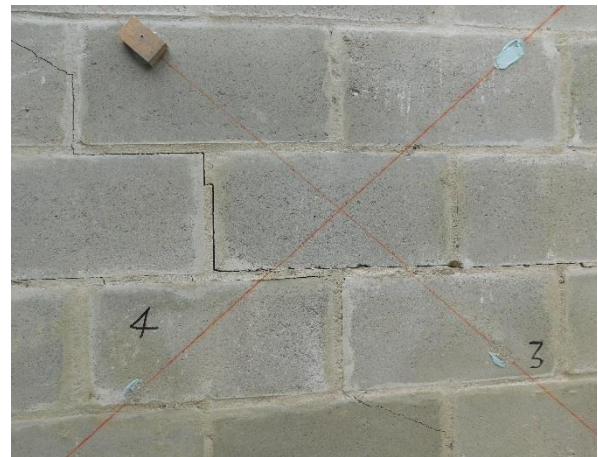


Fotografía 5.23 Fisuras en la cara frontal del muro MD-2#4/60





*Fotografía 5.24 Fisuras de la parte superior derecha en la cara frontal*



*Fotografía 5.25 Fisuras de la parte central de la cara posterior*



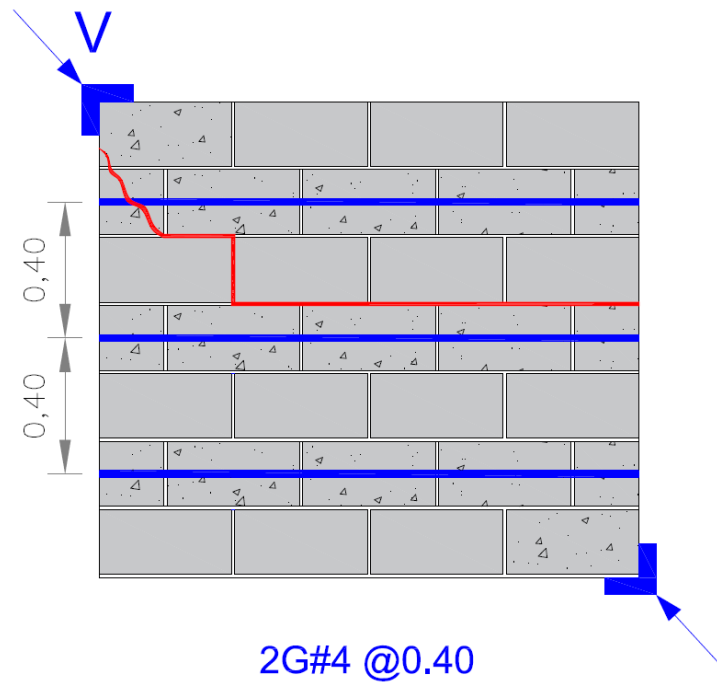
*Fotografía 5.26 Fisuras en el bloque de la hilada 2 de la cara frontal*



*Fotografía 5.27 Fisuras en el bloque de la hilada 5 de la cara frontal*

#### **5.2.3.5. Modo de falla Muro MD-2#4/40**

El modo de falla que se presentó fue por deslizamiento entre las hiladas 4 y 5. En la hilada 6 donde están localizadas las barras de refuerzo se presentó una fisura en diagonal en el primer bloque de mampostería como se evidencia en la Figura 5.6. No se siguió el mismo patrón de falla exhibido por el muro sin refuerzo, dado que se encontraba con zonas de mayor rigidez (celdas con barras de refuerzo horizontales y mortero de relleno en las hiladas 2, 4 y 6), por lo cual para presentarse la falla se incrementó la resistencia, terminando por presentarse la falla a lo largo del plano horizontal sobre la hilada 4.



*Figura 5.6 Fisuración y modo de falla del muro MD-2#4/40*



*Fotografía 5.28 Fisuras en la cara frontal del muro MD-2#4/40*





*Fotografía 5.29 Fisuras en la cara posterior del muro MD-2#4/40*



*Fotografía 5.30 Fisuras de la parte superior izquierda en la cara frontal*



*Fotografía 5.31 Fisuras de la parte superior derecha en la cara posterior*



*Fotografía 5.32 Desplazamiento horizontal de aproximadamente 2 cm/*



*Fotografía 5.33 Verificación de confinamiento de la barra de GFRP en la hilada 6*

#### **5.2.3.6. Modo de falla Muro MD-2#5/40**

El modo de falla que se presentó fue por deslizamiento entre las hiladas 4 y 5. En la hilada 5 se presentó una fisura en el primer bloque de mampostería. En la hilada 6 donde están localizadas las barras de refuerzo se presentó una falla por tensión en la junta entre el primer y segundo bloque de mampostería debido a que la celda del primer bloque y las barras de GFRP no quedaron completamente confinadas por el mortero de relleno (ver Figura 5.7). Debido a que se encontraba con zonas de mayor rigidez (celdas con barras de refuerzo horizontales y mortero de relleno en las hiladas 2, 4 y 6), no se presentó el mismo patrón de falla en diagonal escalonada exhibido por el muro sin refuerzo, por lo cual para presentarse la falla se incrementó la resistencia, terminando por presentarse la falla a lo largo del plano horizontal sobre la hilada 4.



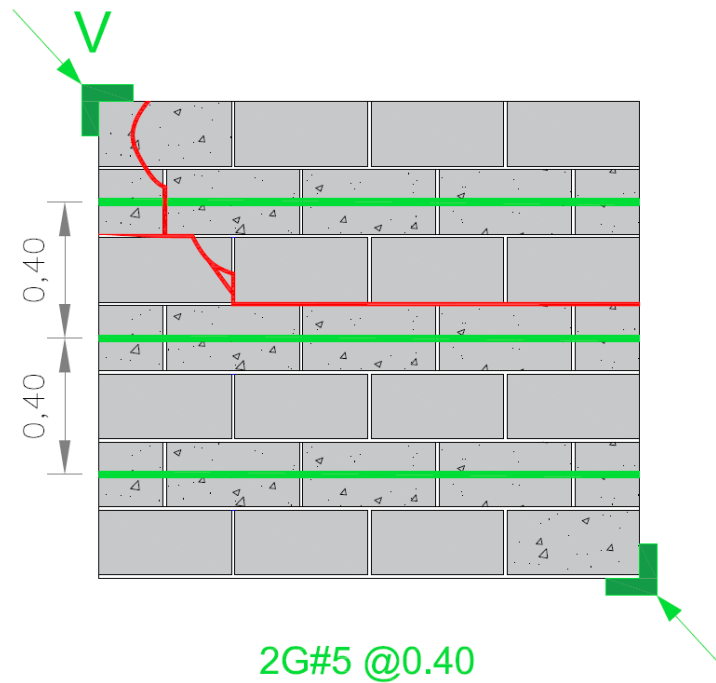


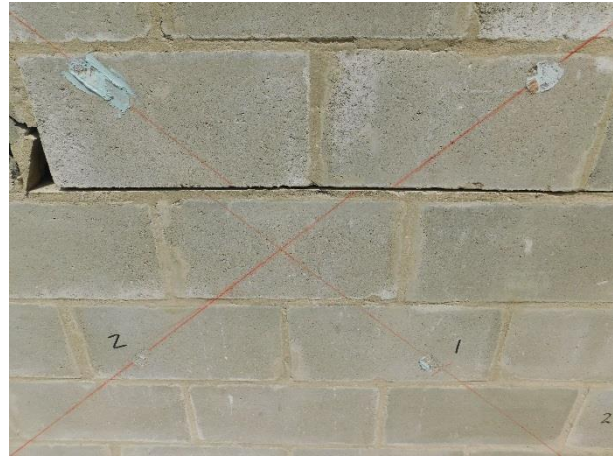
Figura 5.7 Fisuración y modo de falla del muro MD-2#5/40



Fotografía 5.34 Fisuras en la cara frontal del muro MD-2#5/40



Fotografía 5.35 Fisuras de la parte superior izquierda en la cara frontal



Fotografía 5.36 Línea de falla sobre la hilada 4 de la parte central en la cara frontal



Fotografía 5.37 Desplazamiento horizontal de aproximadamente 6 cm/



Fotografía 5.38 Desplazamiento horizontal en la parte derecha de la cara frontal/



Fotografía 5.39 Falta de confinamiento de las barras de GFRP en la primera celda de la hilada 5

### 5.3. RESULTADOS DE LOS MUROS ENSAYADOS A CORTANTE DIRECTO

A continuación, se hace la descripción de los resultados encontrados de acuerdo con las variables estudiadas, establecidas en el programa experimental.

#### 5.3.1. Capacidad de carga

El cortante máximo resistido por cada uno de los muros ensayados a cortante directo con carga aplicada a la mitad de la altura se presenta en la Tabla 5.5. En el anexo G se muestran los cálculos detallados. Al igual que los muros ensayados a compresión diagonal, los resultados evidencian que en este ensayo el refuerzo a cortante con barras de GFRP contribuyen en el aumento de la capacidad de carga máxima de los muros, aunque este incremento no fue tan significativo como el que se presentó en los muros ensayados a compresión diagonal. Ya que, se puede observar que los muros reforzados alcanzaron resistencias de 1.17 hasta 1.63 veces la alcanzada por el muro de control MC-C. Para los muros con diferente cuantía, pero igual separación del refuerzo horizontal como MC-1#5/60 y MC-2#4/60 alcanzaron resistencias muy similares de 97% y 117% respectivamente. Al igual que los muros MC-2#4/40 y MC-2#5/40 con resistencias de 156% y 163%.

*Tabla 5.5 Resumen de los muros ensayados a cortante directo*

Nomenclatura	Dimensiones BxH (mm x mm)	Fecha fabricación (dd/mm/aaaa)	Fecha Ensayo (dd/mm/aaaa)	Edad (días)	Cortante Último (kg)	Cortante Último (kN)	% Ref. Muro Control
MC-C	1600x2600	01/02/2019	22/03/2019	49	6958	68.26	100%
MC-1#5/120	1600x2600	30/11/2018	20/02/2019	82	4442	43.58	64%
MC-1#5/60	1600x2600	03/12/2018	14/02/2019	73	6750	66.22	97%
MC-2#4/60	1600x2600	25/02/2019	26/03/2019	29	8139	79.85	117%
MC-2#4/40	1600x2600	06/12/2018	12/02/2019	68	10888	106.81	156%
MC-2#5/40	1600x2600	01/02/2019	21/03/2019	48	11345	111.30	163%

Los ciclos de carga y descarga para cada ensayo de cortante directo se presenta de la Figura 5.8 a la Figura 4.13. En donde las ordenadas indican el cortante resistido por los muros ensayados a cortante directo y las abscisas, la deformación del muro a una altura de H/2. Adicionalmente, presentan los valores de cortante para los cuales se presentaron las fallas descritas en los modos de falla de la sección 5.3.2.

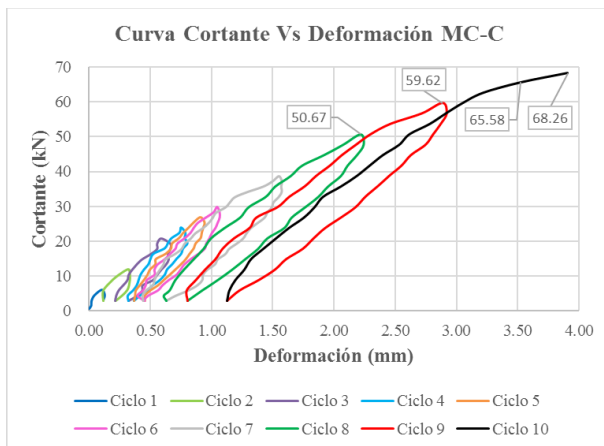


Figura 5.8 Curva Cortante Vs deformación muro MC-C

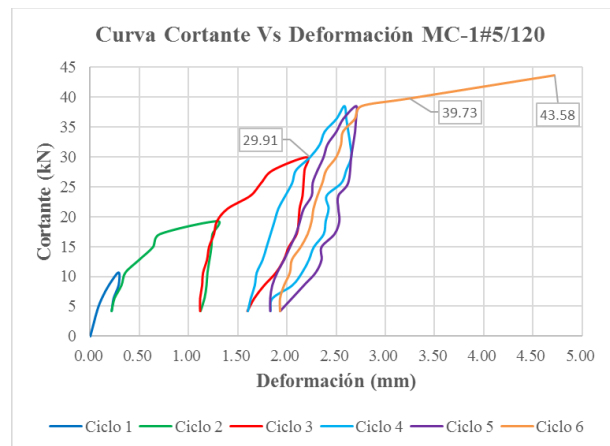


Figura 5.9 Curva Cortante Vs deformación muro MC-1#5/120

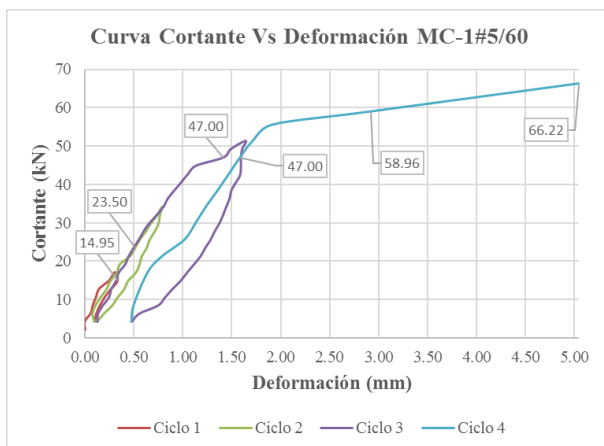


Figura 5.10 Curva Cortante Vs deformación muro MC-1#5/60

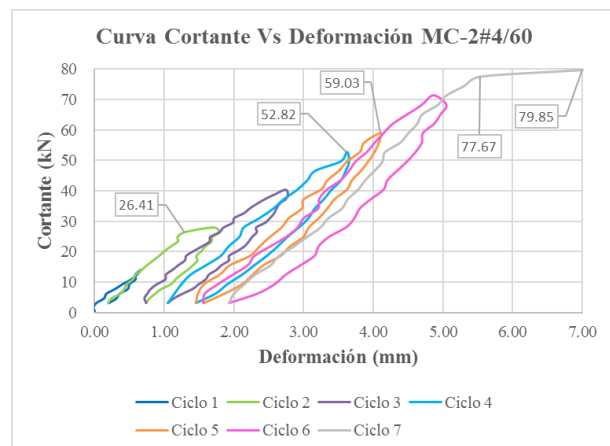


Figura 5.11 Curva Cortante Vs deformación muro MC-2#4/60



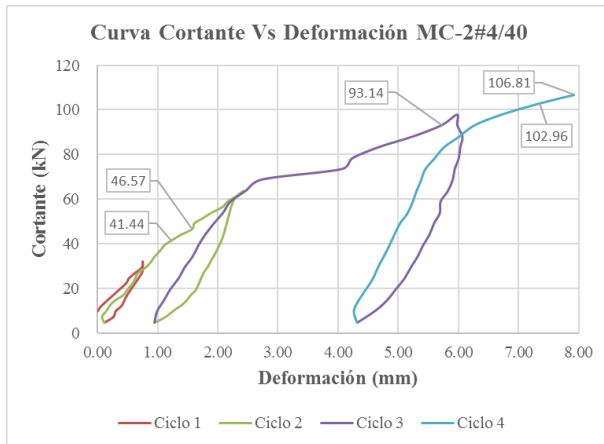


Figura 5.12 Curva Cortante Vs deformación muro MC-2#4/40

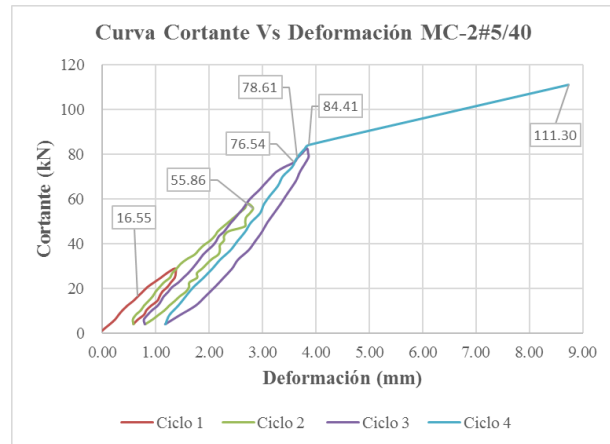


Figura 5.13 Curva Cortante Vs deformación muro MC-2#5/40

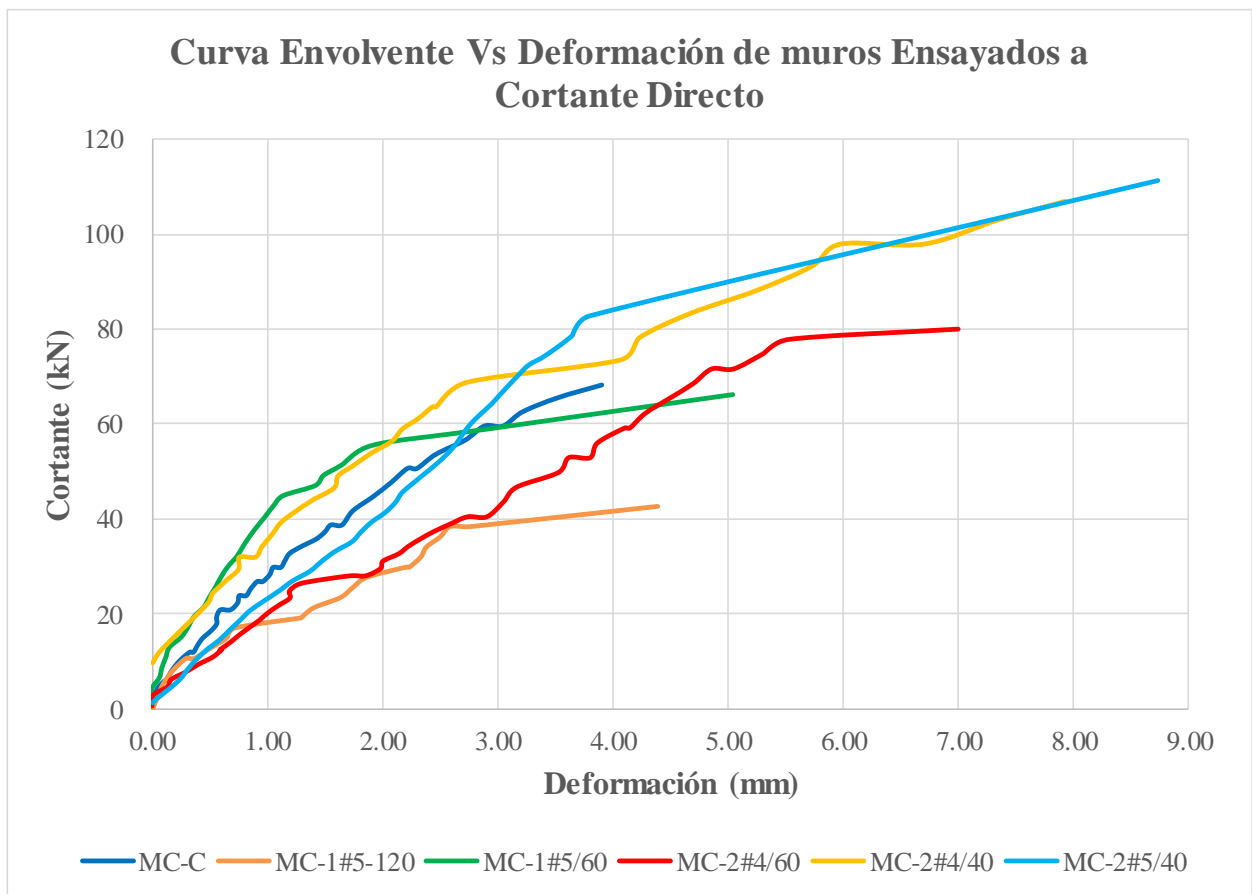


Figura 5.14 Envolvente para cada uno de los muros ensayados a cortante directo

### ***5.3.2. Modos de falla de los especímenes ensayados a corte directo***

A continuación, se muestran los esquemas de fisuración obtenidos de cada espécimen en la experimentación, resaltando en color rojo las fisuras observadas.

#### ***5.3.2.1. Modo de falla Muro MC-C***

Durante la carga del ciclo 8 para un cortante de 50.67 kN (5166 kg) apareció una fisura escalonada en la parte inferior central entre las pegas de las hiladas 2, 3 y 4. Después, durante la carga del ciclo 9 para un cortante de 59.62 kN (6077 kg) apareció una fisura entre las hiladas 4 y 5 por la parte derecha del muro a lo largo de la pega horizontal y al mismo tiempo se prolongó la fisura escalonada inferior hacia la derecha entre hiladas 1 y 2 hasta llegar a la base de la viga de cimentación. Posteriormente, durante la carga del ciclo 10, apareció una fisura escalonada e la parte superior a lo largo de las pegas entre las hiladas 8 y 13 para un cortante de 65.58 kN (6685 kg) y se presentaron fisuras en el primer bloque de mampostería de la hilada 8 y el último bloque de la hilada 13. Finalmente, se alcanzó un cortante máximo de 68.26 kN (6958 kg) y se avanzó en desplazamiento al prolongarse la fisura escalonada inferior hacia la izquierda y fisurarse el primer bloque de mampostería de la hilada 8. El modo de falla que se presentó fue por tensión diagonal en juntas sobre las hiladas 1, 2 y 3 (justo por debajo de la hilada 4 la cual se encontraba reforzada con una barra #5 de GFRP), junto con un modo de falla por deslizamiento entre las hiladas 8 y 9. La secuencia de fisuración se puede observar en la Figura 5.15.

### SIN REFUERZO

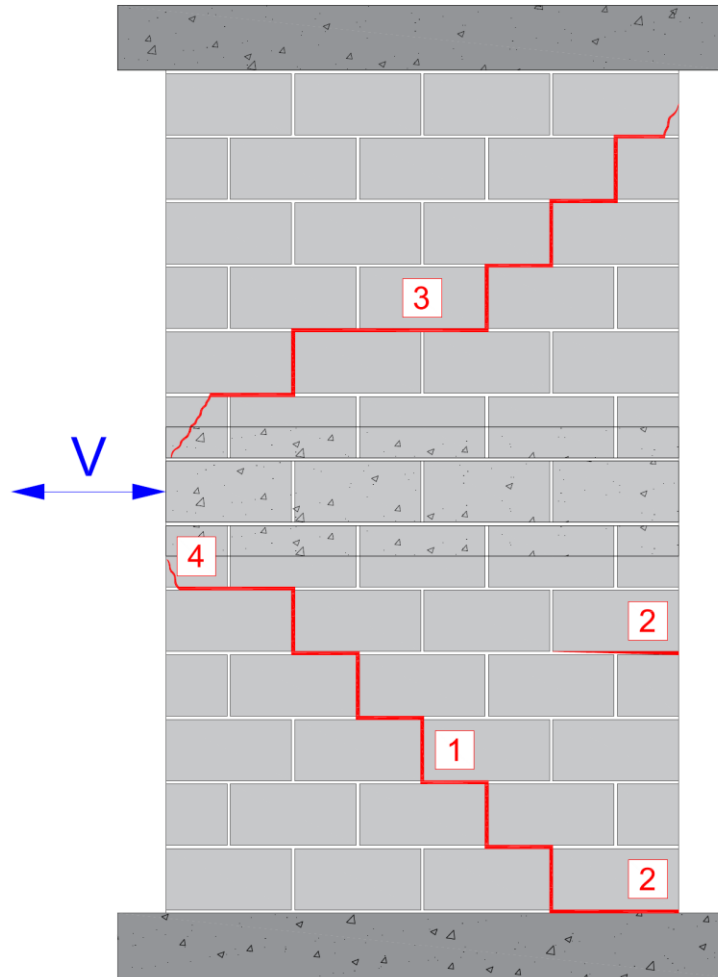


Figura 5.15 Fisuración y modo de falla del muro MC-C

Tabla 5.6 Secuencia de fisuración muro MC-C

Número	Ciclo	Cortante (kN)	Tipo de falla
1	8	50.67 kN	Fisura escalonada en la pega de las hiladas 2, 3 y 4 parte inferior central.
2	9	59.62 kN	Fisura en la pega horizontal entre hiladas 4 y 5 en la parte derecha y prolongación de la fisura escalonada inferior hasta la base de la viga de cimentación y la primera hilada de mampostería.
3	10	65.58 kN	Fisura escalonada en la pega entre hiladas 8 y 13 parte superior y rotura del primer bloque de mampostería de la hilada 8 y bloque número 4 de la hilada 13.
4	10	68.26 kN	Prolongación de la fisura escalonada inferior en la parte izquierda y rotura del primer bloque de mampostería de la hilada 6.



*Fotografía 5.40 Fisuras en la cara frontal del muro MC-C*





*Fotografía 5.41 Fisura escalonada de la parte inferior en la cara frontal*



*Fotografía 5.42 Fisuras de la parte central izquierda en la cara frontal*



*Fotografía 5.43 Fisuras de la parte inferior derecha en la cara frontal*



*Fotografía 5.44 Fisuras de la parte inferior izquierda en la cara posterior*



*Fotografía 5.45 Fisuras de la parte inferior derecha en la cara posterior*



*Fotografía 5.46 Fisura escalonada de la parte superior en la cara frontal*



*Fotografía 5.47 Fisuras de la parte central izquierda en la cara frontal*



*Fotografía 5.48 Fisuras de la parte superior derecha en la cara frontal*

### **5.3.2.2. Modo de falla Muro MC-1#5/120**

Durante la carga del ciclo 4 para un cortante de 29.91 kN (3049 kg) apareció una fisura escalonada en la parte inferior izquierda en los primeros bloques de mampostería en las hiladas 1, 2 y 3. Al mismo tiempo, comenzó a aparecer una fisura horizontal entre las hiladas 8 y 9 en el centro del muro. Después, durante la carga del ciclo 6 para un cortante de 39.73 kN (4050 kg) se prolongó la fisura escalonada y se rompió el primer bloque de mampostería de la hilada 3. Finalmente, se alcanzó un cortante máximo de 43.58 kN (4442 kg) y se avanzó en desplazamiento al prolongarse la fisura entre la primera hilada de mampostería y la viga de cimentación. El modo de falla que se presentó fue por tensión diagonal en juntas sobre las hiladas 1, 2 y 3 (justo por debajo de la hilada 4 la cual se encontraba reforzada con una barra #5 de GFRP), junto con un modo de falla por deslizamiento entre las hiladas 8 y 9. La secuencia de fisuración se puede observar en la Figura 5.16.



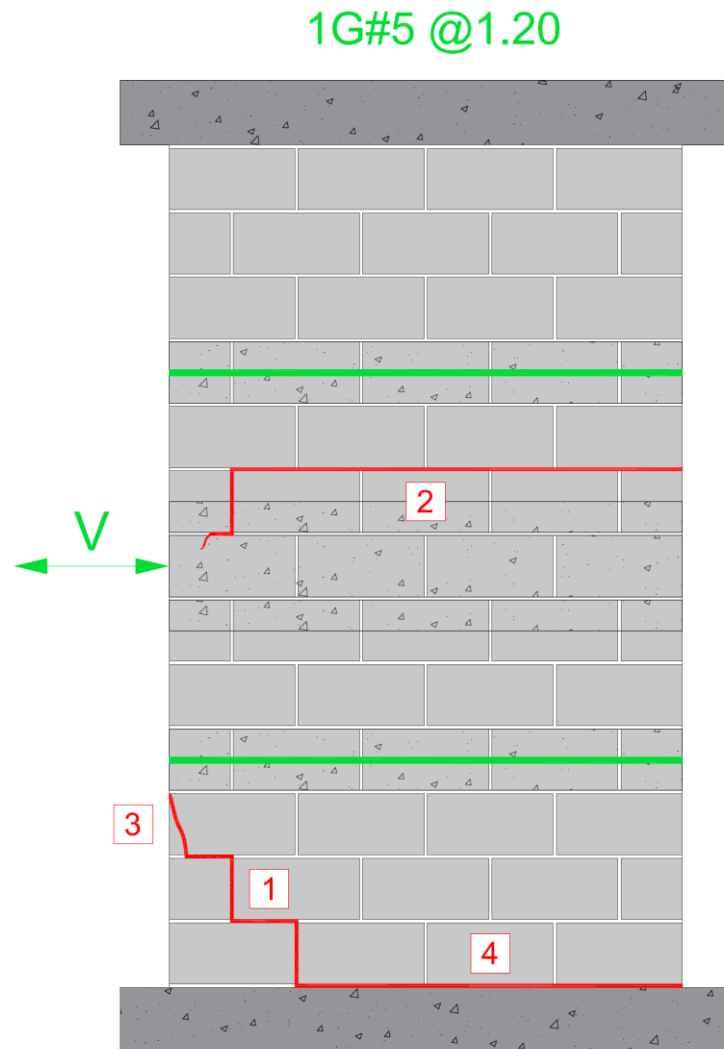


Figura 5.16 Fisuración y modo de falla del muro MC-1#5/120

Tabla 5.7 Secuencia de fisuración muro MC-1#5/120

Número	Ciclo	Cortante (kN)	Tipo de falla
1	4	29.91 kN	Fisura escalonada en la pega de las hiladas 1, 2 y 3 parte inferior izquierda
2	4	29.91 kN	Fisura en la pega horizontal entre hiladas 8 y 9
3	6	39.73 kN	Prolongación de la fisura escalonada y fisura en el primer bloque de la hilada 3.
4	6	43.58 kN	Prolongación de la fisura de pega entre la base de la viga de cimentación y la primera hilada de mampostería



*Fotografía 5.49 Fisuras en la cara frontal del muro MC-1#5/120*



*Fotografía 5.50 Fisuras de la parte inferior izquierda en la cara frontal*



*Fotografía 5.51 Fisuras de la parte inferior derecha en la cara posterior*



*Fotografía 5.52 Línea de falla entre las hiladas 8 y 9 de la parte izquierda en la cara frontal*





*Fotografía 5.53 Línea de falla entre las hiladas 8 y 9 de la parte derecha en la cara frontal*



*Fotografía 5.54 Tensión de junta vertical entre el primer y segundo bloque de la hilada 8 en la cara frontal*



*Fotografía 5.55 Desprendimiento entre la primera hilada de mampostería y la viga de cimentación*

### **5.3.2.3. Modo de falla Muro MC-1#5/60**

Durante la descarga del ciclo 1, apareció una fisura entre las hiladas 5 y 6 por la parte derecha del muro a lo largo de la pega horizontal para un cortante de 14.95 kN (1524 kg). Luego, en la carga del ciclo 2, se desprendió el primer bloque de mampostería de la hilada 1 de la base de la viga de cimentación para un cortante de 23.50 kN (2395 kg). Después, en la carga del ciclo 3, se prolongó la fisura entre las hiladas 5 y 6 para un cortante de 47.00 kN (4791 kg).



Posteriormente, durante la carga del ciclo 4, comenzó a fisurarse el primer bloque de mampostería de la hilada 6 siguiendo una línea a  $45^\circ$  para un cortante de 47.00 kN (4791 kg). Finalmente, para un cortante de 58.96 kN (6010 kg), el primer bloque de mampostería de la hilada 6 se fisuró totalmente al encontrarse con la fisura de la pega entre las hiladas 5 y 6, el muro alcanzó su cortante último de 66.22 kN (6750 kg). El modo de falla fue por deslizamiento entre las hiladas 5 y 6, teniendo en cuenta que la hilada 5 estaba reforzada con una barra #5 de GFRP. La secuencia de fisuración se evidencia en la Figura 5.17.

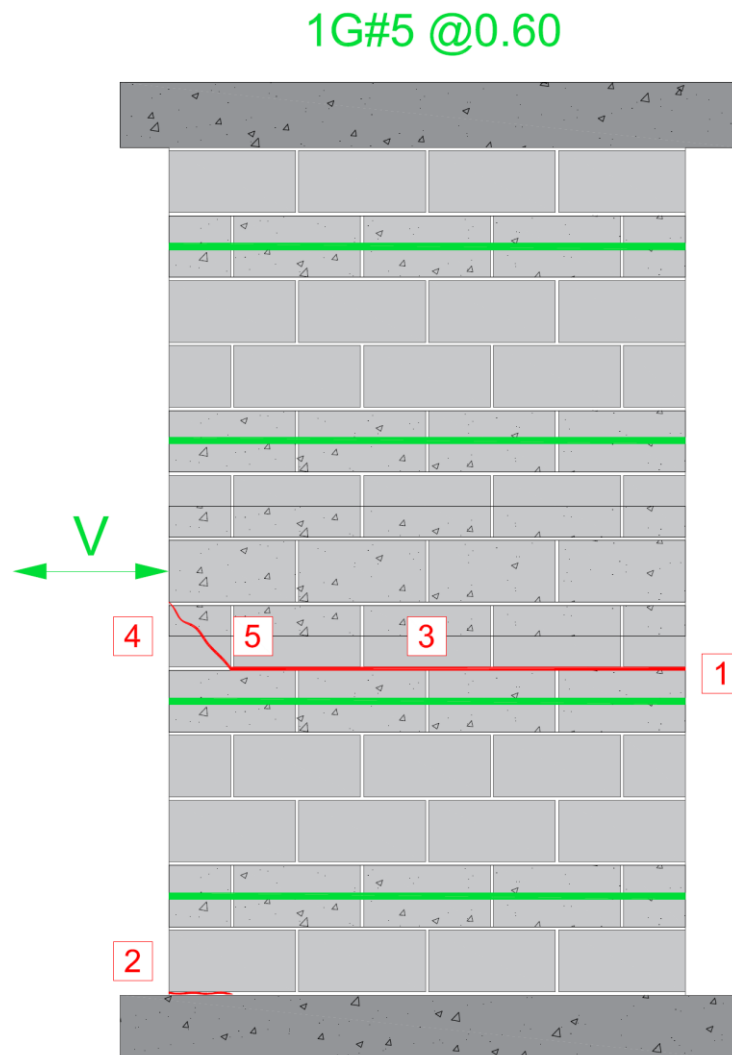


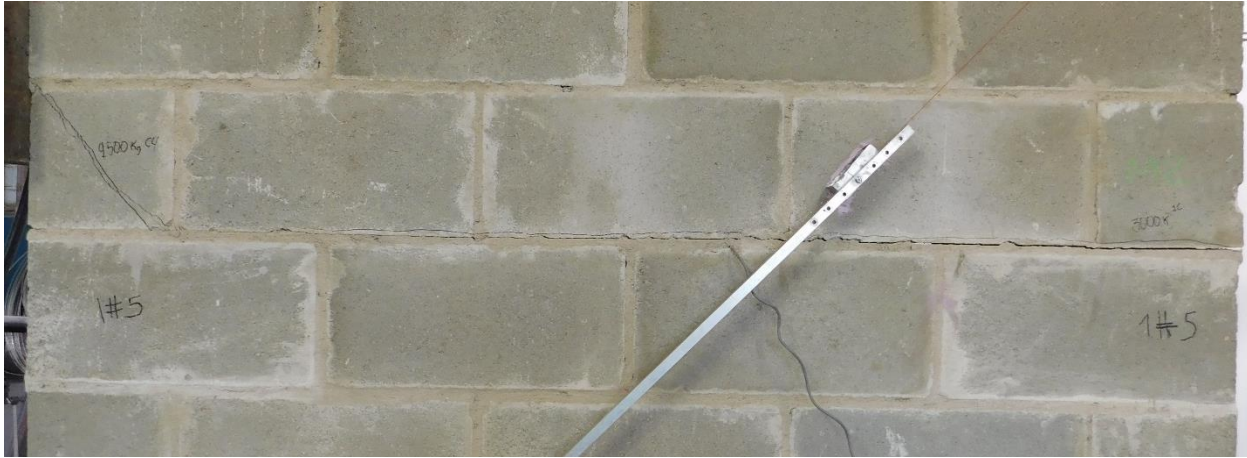
Figura 5.17 Fisuración y modo de falla del muro MC-1#5/60

*Tabla 5.8 Secuencia de fisuración muro MC-1#5/60*

Número	Ciclo	Cortante (kN)	Tipo de falla
1	1	14.95 kN	Fisura en la pega entre las hiladas 5 y 6 parte derecha
2	2	23.50 kN	Fisura en la pega entre la base de la viga de cimentación y el primer bloque de mampostería de la hilada 1
3	3	47.00 kN	Prolongación de la fisura en la pega entre las hiladas 5 y 6 parte central
4	4	47.00 kN	Fisura a 45° en el primer bloque de mampostería de la hilada 6
5	4	58.96 kN	Encuentro de la fisura en el primer bloque de mampostería de la hilada 6 con la fisura en la pega entre las hiladas 5 y 6



*Fotografía 5.56 Fisuras en la cara frontal del muro MC-1#5/60*



*Fotografía 5.57 Línea de falla entre las hiladas 5 y 6 en la cara frontal*

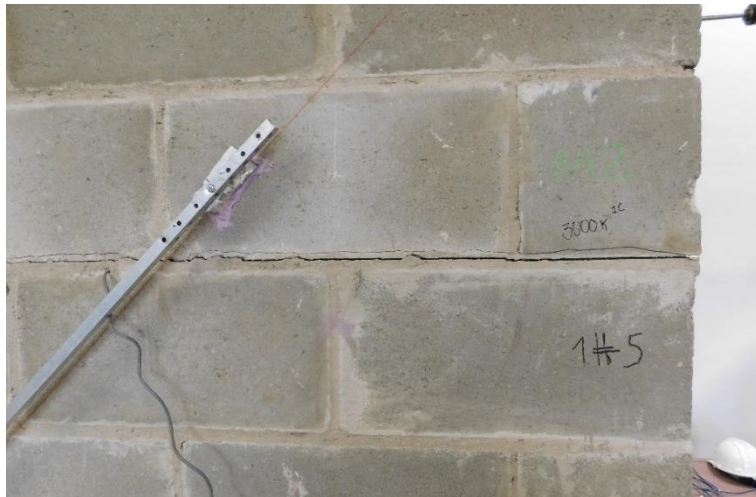


*Fotografía 5.58 Línea de falla entre las hiladas 5 y 6 en la cara posterior*



*Fotografía 5.59 Línea de falla entre las hiladas 5 y 6 de parte izquierda en la cara frontal*





Fotografía 5.60 Línea de falla entre las hiladas 5 y 6 de la parte derecha en la cara frontal



Fotografía 5.61 Fisuras en el bloque de la hilada 6 de la cara frontal



Fotografía 5.62 Fisuras en el bloque de la hilada 6 de la cara posterior



Fotografía 5.63 Desplazamiento horizontal entre las hiladas 5 y 6 en la parte derecha de la cara frontal



Fotografía 5.64 Desprendimiento del primer bloque de mampostería entre la primera hilada y la viga de cimentación

#### 5.3.2.4. *Modo de falla Muro MC-2#4/60*

Durante la carga del ciclo 2 para un cortante de 26.41 kN (2692 kg) apareció una fisura entre las hiladas 5 y 6 a lo largo de la pega horizontal junto con una fisura en el segundo bloque de mampostería de la hilada 6 siguiendo una línea a 45 °. Después, durante la carga del ciclo 4 para un cortante de 52.82 kN (5384 kg) apareció una fisura escalonada en la parte inferior central entre las pegas de las hiladas 3, 4 y 5. Posteriormente, durante la carga del ciclo 5, se prolongó la fisura entre las hiladas 5 y 6 hacia la izquierda para un cortante de 59.03 kN (6017 kg). Finalmente, durante la carga del ciclo 7 se prolongó la fisura escalonada inferior entre las pegas hacia la derecha terminando en fisura del bloque 3 de la hilada 1 para un cortante de 77.67 kN (7918 kg) y en seguida se presentó una fisura escalonada en la parte superior entre las pegas de las hiladas de la 8 a la 12 y fisuras en el primer bloque de mampostería de la hilada 5 cuando se alcanzó un cortante máximo de 79.85 kN (8139 kg). El modo de falla que se presentó fue por deslizamiento entre las hiladas 5 y 6 (justo por encima de la hilada 5 la cual se encontraba reforzada con dos barras #4 de GFRP), y por tensión diagonal en juntas tanto en la parte superior como inferior del muro en las hiladas que estaban sin reforzar. La secuencia de fisuración se puede observar en la Figura 5.18.

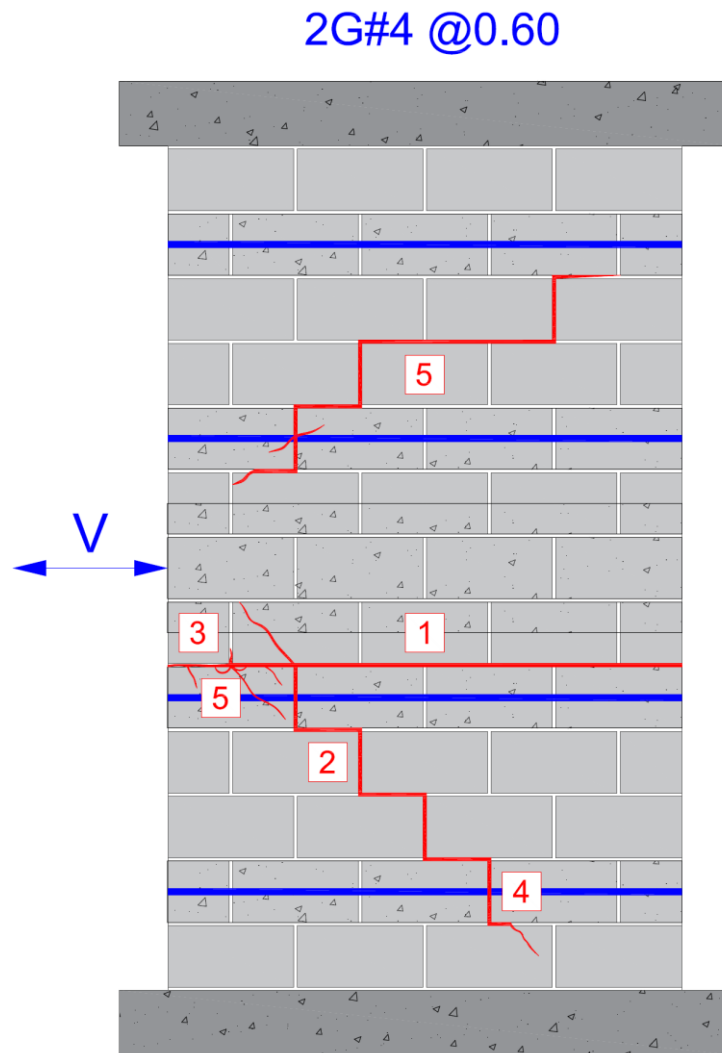


Figura 5.18 Fisuración y modo de falla del muro MC-2#4/60

Tabla 5.9 Secuencia de fisuración muro MC-2#4/60

Número	Ciclo	Carga (kN)	Tipo de falla
1	2	26.41 kN	Fisura en la pega entre las hiladas 5 y 6, y fisura a 45° en el segundo bloque de mampostería de la hilada 6
2	4	52.82 kN	Fisura escalonada entre las pegas de las hiladas 3, 4 y 5
3	5	59.03 kN	Prolongación de la fisura en la pega entre las hiladas 5 y 6 hacia la izquierda
4	7	77.67 kN	Prolongación de la fisura escalonada hacia la derecha con fisura del bloque 3 de la hilada 1
5	7	79.85 kN	Fisura escalonada entre las pegas de las hiladas 8 a la 12 y fisuras en el primer bloque de mampostería de la hilada 5

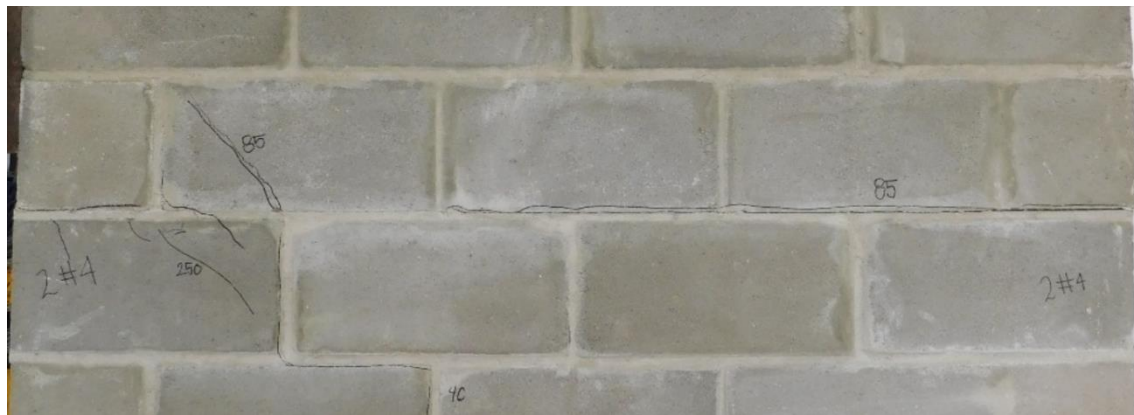


*Fotografía 5.65 Fisuras en la cara frontal del muro MC-2#4/60*





*Fotografía 5.66 Fisuras de la parte inferior en la cara frontal*



*Fotografía 5.67 Línea de falla entre las hiladas 5 y 6 en la cara frontal*



*Fotografía 5.68 Fisuras en los bloques de las hiladas 5 y 6 en la parte izquierda de la cara frontal*



*Fotografía 5.69 Fisura escalonada en la parte inferior derecha de la cara frontal*



*Fotografía 5.70 Fisuras de la parte superior en la cara frontal*



*Fotografía 5.71 Fisuras de la parte inferior en la cara posterior*



*Fotografía 5.72 Fisura escalonada de la parte inferior izquierda en la cara posterior*



*Fotografía 5.73 Fisura escalonada de la parte inferior derecha en la cara posterior*

#### **5.3.2.5. Modo de falla Muro MC-2#4/40**

Durante la carga del ciclo 2, se despegó el primer bloque de mampostería de la hilada 1 y la viga de cimentación para un cortante de 41.44 kN (4224 kg). Luego, apareció una fisura entre las hiladas 8 y 9 por la parte derecha del muro a lo largo de la pega horizontal para un cortante de 46.57 kN (4747 kg). Después, en la carga del ciclo 3, comenzó a fisurarse el primer bloque de mampostería de la hilada 8 siguiendo unas líneas a 45° para un cortante de 93.14 kN (9494 kg). Posteriormente, durante la carga del ciclo 4, se presentó tensión en la junta entre bloques 3 y 4 de la hilada 9 para un cortante de 102.96 kN (10496 kg). Finalmente, el muro alcanzó su resistencia última al encontrarse las fisuras del primer bloque de mampostería de la hilada 8 y con la fisura de la pega entre las hiladas 8 y 9 para una cortante máximo de 106.81 kN (10888 kg). El modo de falla fue por deslizamiento entre las hiladas 8 y 9, teniendo en cuenta que la hilada 8 estaba reforzada con 2 barras #4 de GFRP. La secuencia de fisuración se muestra en la Figura 5.19.



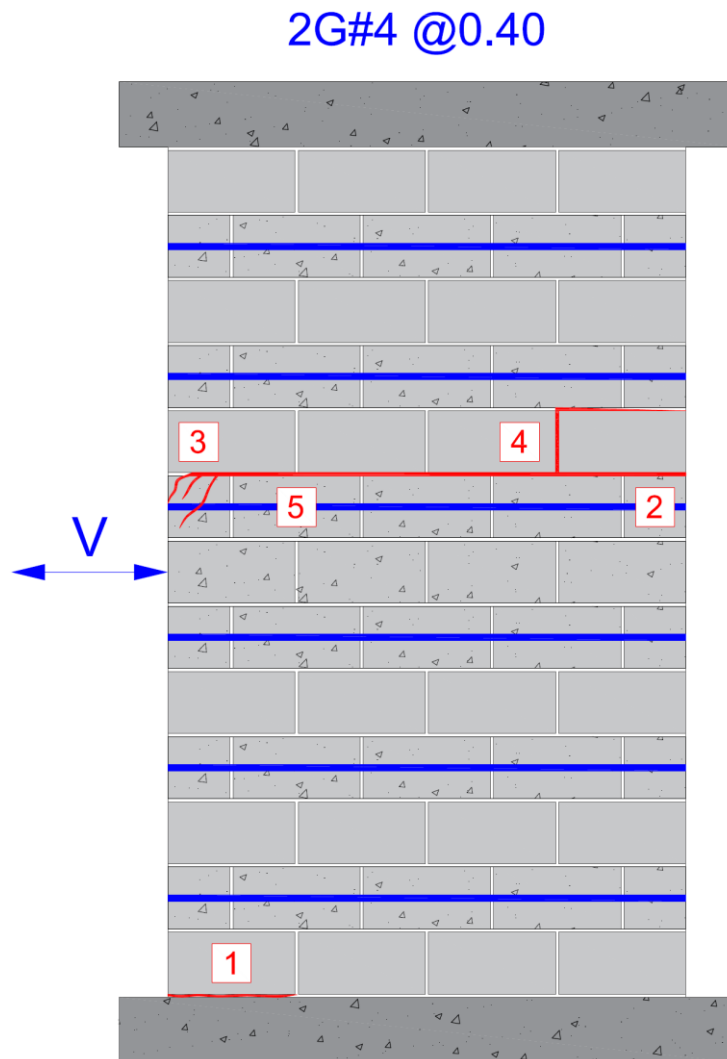


Figura 5.19 Fisuración y modo de falla del muro MC-2#4/40

Tabla 5.10 Secuencia de fisuración muro MC-2#4/40

Número	Ciclo	Cortante (kN)	Tipo de falla
1	2	41.44 kN	Fisura en la pega entre la base de la viga de cimentación y el primer bloque de mampostería de la hilada 1
2	2	46.57 kN	Fisura en la pega entre las hiladas 8 y 9 parte derecha
3	3	93.14 kN	Fisuras a 45° en el primer bloque de mampostería de la hilada 8
4	4	102.96 kN	Fisura por tensión de junta entre los bloques de mampostería 3 y 4 de la hilada 9
5	4	106.81 kN	Encuentro de las fisuras en el primer bloque de mampostería de la hilada 8 con la fisura en la pega entre las hiladas 8 y 9



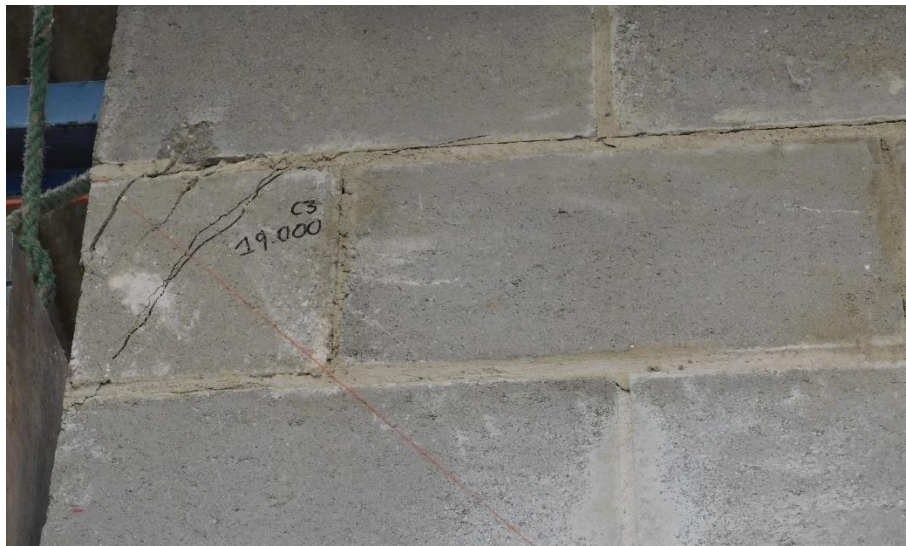
Fotografía 5.74 Fisuras en la cara frontal del muro MC-2#4/40



*Fotografía 5.75 Línea de falla entre las hiladas 8, 9 y 10 en la cara frontal*



*Fotografía 5.76 Aplastamiento del primer bloque de mampostería de la hilada 8*



*Fotografía 5.77 Línea de falla entre las hiladas 8 y 9 de parte izquierda en la cara frontal*





*Fotografía 5.78 Línea de falla entre las hiladas 8, 9 y 10 de parte derecha en la cara frontal*



*Fotografía 5.79 Línea de falla entre las hiladas 8, 9 y 10 de parte izquierda en la cara posterior*



*Fotografía 5.80 Línea de falla entre las hiladas 8 y 9 de parte derecha en la cara posterior*



*Fotografía 5.81 Desprendimiento del primer bloque de mampostería entre la primera hilada y la viga de cimentación en la cara frontal*



*Fotografía 5.82 Desprendimiento del primer bloque de mampostería entre la primera hilada y la viga de cimentación en la cara posterior*

#### **5.3.2.6. Modo de falla Muro MC-2#5/40**

Durante la carga del ciclo 1, apareció una fisura entre las hiladas 8 y 9 por la parte derecha del muro a lo largo de la pega horizontal para un cortante de 16.55 kN (1687 kg). Luego, para la

carga del ciclo 2 la fisura entre las hiladas 8 y 9 se prolongó hacia la izquierda para un cortante de 55.86 kN (5694 kg). Después, en la carga del ciclo 3, comenzó a fisurarse por la pega entre las hiladas 4 y 5 en la parte derecha del muro y entre los bloques 3 y 4 de la hilada 5 y se fisuró el bloque número 2 de la hilada 6 para un cortante de 76.54 kN (7803 kg). Posteriormente, durante la carga del ciclo 4, se fisuro de manera escalonada entre las pegas en la parte inferior central en las hiladas 3 y 4 para un cortante de 78.61 kN (8014 kg). Inmediatamente después, se fisuró el primer bloque de la hilada 6 y se prolongó la fisura entre las hiladas 4, 5 y 6 para un cortante de 84.41 kN (8604 kg). Finalmente, el muro alcanzó su resistencia última al encontrarse las fisuras del primer bloque de mampostería de la hilada 8 y con la fisura de la pega entre las hiladas 8 y 9 para una cortante máximo de 111.30 kN (11345 kg). El modo de falla fue por deslizamiento entre las hiladas 4, 5 y 6, teniendo en cuenta que las hiladas 4 y 6 estaban reforzada con 2 barras #5 de GFRP. La secuencia de fisuración se muestra en la Figura 5.20 .

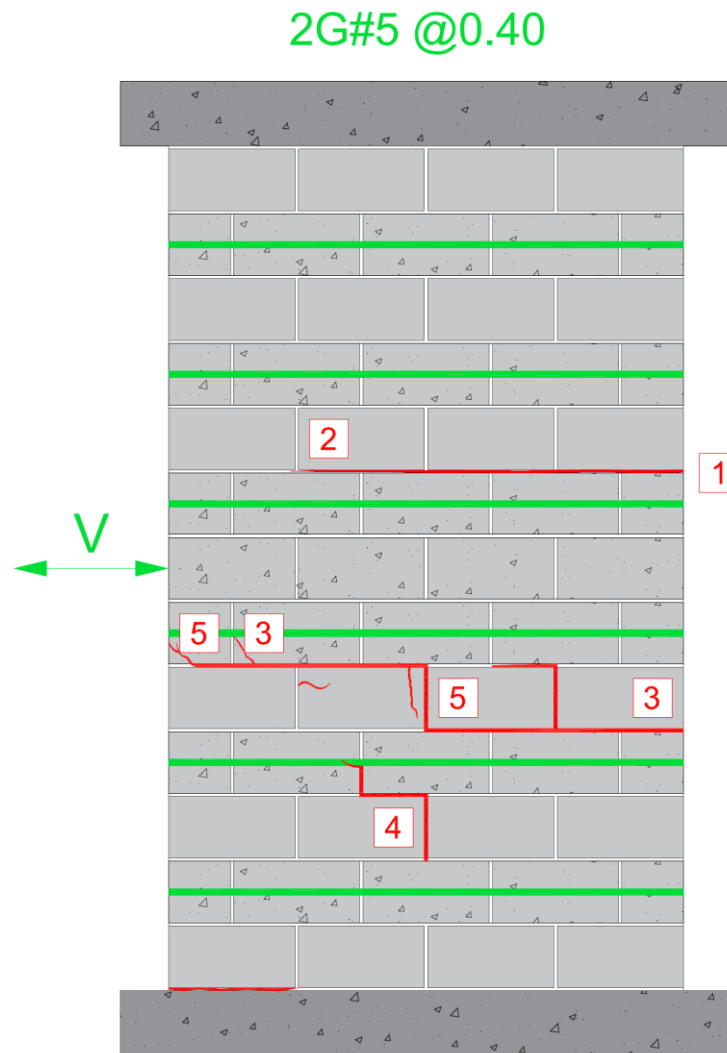


Figura 5.20 Fisuración y modo de falla del muro MC-2#5/40

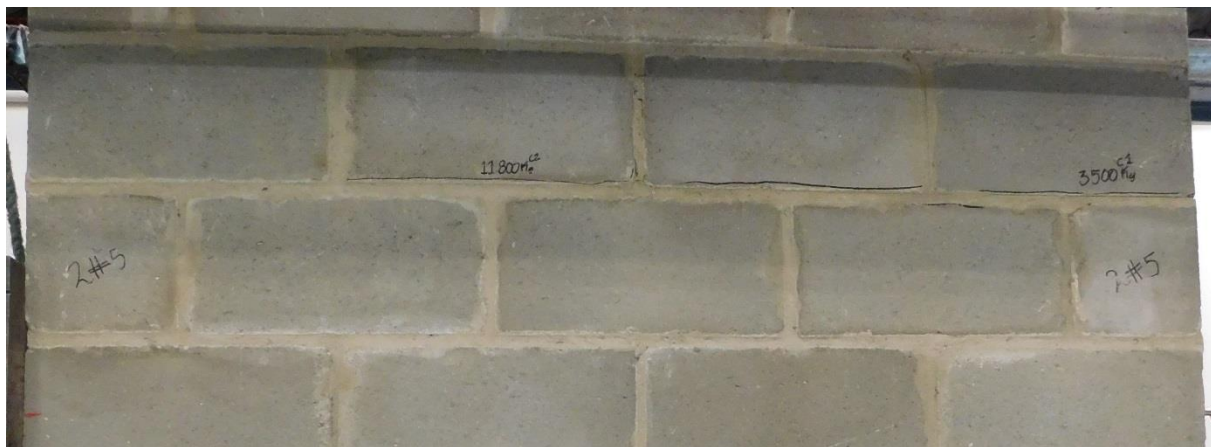
Tabla 5.11 Secuencia de fisuración muro MC-2#5/40

Número	Ciclo	Cortante (kN)	Tipo de falla
1	1	16.55 kN	Fisura en la pega entre las hiladas 8 y 9 parte derecha
2	2	55.86 kN	Prolongación de la fisura en la pega entre las hiladas 8 y 9 hacia la izquierda
3	3	76.54 kN	Fisura escalonada entre las pegas de las hiladas 4 y 5 en la parte inferior derecha y rotura del bloque número 2 de la hilada 6
4	4	78.61 kN	Fisura escalonada entre las pegas de las hiladas 3 y 4 en la parte inferior central
5	4	84.41 kN	Fisura del primer bloque de la hilada 6 y prolongación de las fisuras entre las hiladas 4, 5 6





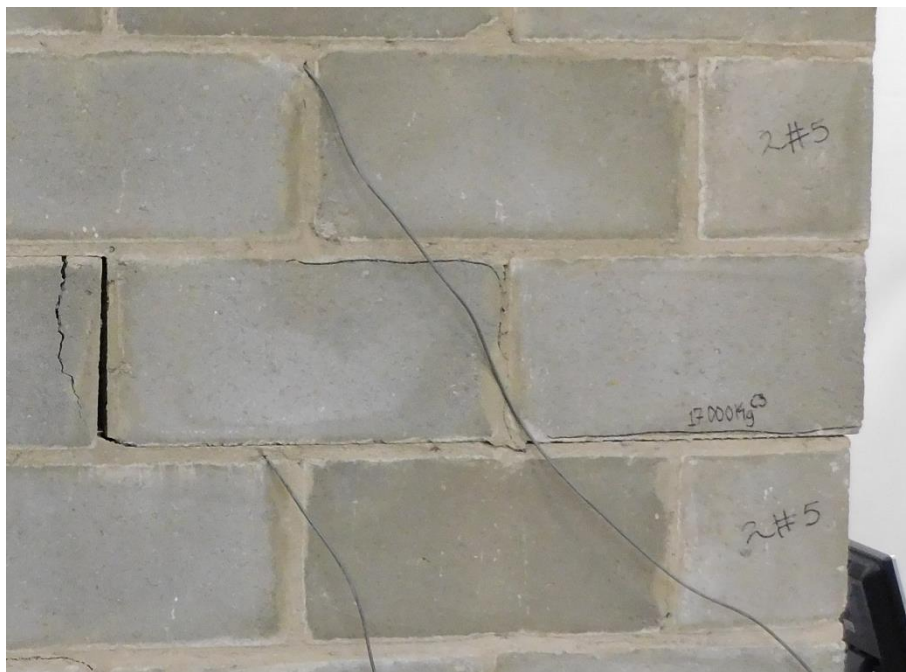
*Fotografía 5.83 Fisuras en la cara frontal del muro MC-2#5/40*



*Fotografía 5.84 Fisuras en la parte central de la cara frontal entre hiladas 8 y 9*



*Fotografía 5.85 Fisuras de la parte inferior izquierda en la cara frontal*

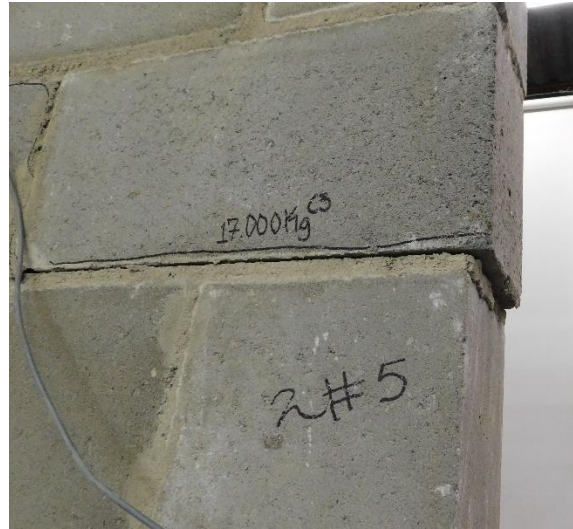


*Fotografía 5.86 Fisuras de la parte inferior derecha en la cara frontal entre las hiladas 4, 5 y 6*





*Fotografía 5.87 Desprendimiento del primer bloque de mampostería entre la primera hilada y la viga de cimentación en la cara frontal*



*Fotografía 5.88 Desplazamiento horizontal entre las hiladas 4 y 5 en la parte derecha de la cara frontal*



*Fotografía 5.89 Fisuras en la cara posterior del muro MC-2#5/40*



*Fotografía 5.90 Fisuras en la parte izquierda de la cara posterior*



*Fotografía 5.91 Fisuras en la parte derecha de la cara posterior*

#### 5.4. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

Se calculó el factor de relación de resistencia a cortante entre los dos tipos de ensayo por medio de la Ecuación 10:

$$r = \tau_{0T} / \tau_{0D} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde  $\tau_{0T}$  es la resistencia a cortante en el ensayo de cortante directo y  $\tau_{0D}$  la resistencia a cortante en el ensayo a compresión diagonal.

En la Tabla 5.12 se muestra el comparativo de los resultados de los muros ensayados a compresión diagonal y los muros ensayados a cortante directo. donde se puede evidenciar que en la mayoría de los casos el factor de relación  $r$  fue menor a 1, mostrando que los muros ensayados a compresión diagonal resistieron más que los muros ensayados a cortante directo, aún cuando se tenían la misma disposición del refuerzo horizontal (separación y número de barras).

Tabla 5.12 Relación  $r = \tau_{0T} / \tau_{0D}$ 

Compresión diagonal			Cortante directo			r
Nomenclatura	$\rho_n$	Cortante Último (kN)	Nomenclatura	$\rho_n$	Cortante Último (kN)	
MD-C	-	46.21	MC-C	-	68.26	1.48
MD-1#5/140	0.001658	113.81	MC-1#5/120	0.001935	43.58	0.38
MD-1#5/60	0.003869	89.85	MC-1#5/60	0.003869	66.22	0.74
MD-2#4/60	0.005017	98.40	MC-2#4/60	0.005017	79.85	0.81
MD-2#4/40	0.007525	131.77	MC-2#4/40	0.007525	106.81	0.81
MD-2#5/40	0.011608	144.61	MC-2#5/40	0.011608	111.30	0.77

El resultado de  $r$  para los muros MD-C y MC-C de 1.48 junto con el resultado de  $r$  para los muros MD-1#5/140 y MC-1#5/120 de 0.38, se alejan bastante de los valores esperados. Por lo cual para una futura investigación se sugiere repetir los ensayos a los especímenes MC-C y MD-1#5/140. Los resultados obtenidos de esta investigación pueden abrir un campo de discusión sobre los requisitos que establecen los códigos de diseño referentes al diseño de mampostería estructural.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos en el proyecto de investigación se presentan las siguientes conclusiones:

- Las barras de refuerzo de GFRP usadas para reforzar los muros de mampostería de concreto mostraron un mejoramiento en el desempeño de estos frente a las cargas que producen cortante. La resistencia a cortante de los muros ensayados a compresión diagonal aumento de 1.94 hasta 3.13 veces respecto al muro de control MD-C, mientras la resistencia a cortante de los muros ensayados a cortante directo aumento hasta 1.63 veces en relación al muro de control MC-C.
- En los muros reforzados, el modo de falla predominante en los ensayos fue por deslizamiento en la junta de pega. Esto sucedió precisamente porque la trayectoria de falla casi siempre (a excepción de los muros MD-2#4/60 y MC-2#4/60) se vio interrumpida por alguna de las hiladas de mampostería que iban reforzadas con barras de GFRP y mortero de relleno, debido a que estas zonas son de mayor rigidez en comparación con las hiladas no reforzadas. La presencia del refuerzo horizontal impidió la apertura y desarrollo de fisuras entre las pegas verticales durante la carga.
- Los resultados de los ensayos de compresión diagonal y de cortante directo con carga aplicada a la mitad de la altura confirmaron que el tipo de ensayo influye en la resistencia a cortante. Esto permitió identificar una relación  $r = \tau_{0T} / \tau_{0D}$  (cortante directo/compresión diagonal) entre los resultados de la resistencia a cortante para los dos ensayos se encuentra entre 0.74 y 0.81 resaltando el problema de elegir el ensayo que mejor simule el

comportamiento real de la mampostería cuando está esforzada por cargas laterales en el plano.

Para futuras investigaciones se recomienda:

- Revisar esta investigación con la construcción y ensayos de especímenes reforzados con barras de acero.
- Plantear un programa experimental para evaluar el comportamiento de muros de mampostería reforzados con barras de GFRP considerando la combinación de refuerzo para flexión y cortante.
- Investigar el comportamiento ante carga paralelas al plano, incluyendo nuevas geometrías, longitudes, alturas, espesores y diferentes tipos de mampostería de concreto. Revisar que comportamientos se presentan con diferentes relaciones de esbeltez.
- Para los muros ensayados a cortante directo se recomienda revisar la resistencia a cortante variando las cargas de compresión axial.
- Verificar el comportamiento de muros de mampostería reforzados con barras de GFRP con cabeza, para diferentes longitudes de muros, revisando su longitud de desarrollo.

## A. ANEXO

## RESULTADOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE MORTERO DE PEGA

*Tabla 6.1 Ensayos de resistencia a la compresión de cilindros de mortero de pega de los muros de compresión diagonal*

Muestra	Identificación	Fecha fabricación (dd/mm/aaaa)	Fecha Ensayo (dd/mm/aaaa)	Edad (días)	Ø (cm)	Carga Última (kg)	Carga Última (kN)	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fc (MPa)
1	MD-C y MD-1#5/140	21/11/2018	20/12/2018	29	4,5	2760	27.08	173.5	17.0
2	MD-C y MD-1#5/140	21/11/2018	20/12/2018	29	4,5	2193	21.51	137.9	13.5
3	MD-C y MD-1#5/140	21/11/2018	20/12/2018	29	4,5	2017	19.79	126.8	12.4
4	MD-C y MD-1#5/140	21/11/2018	20/12/2018	29	4,5	2466	24.19	155.1	15.2
5	MD-C y MD-1#5/140	21/11/2018	20/12/2018	29	4,5	2792.5	27.39	175.6	17.2
6	MD-1#5/60 y MD-2#4/60	22/11/2018	20/12/2018	28	4,5	1632	16.01	102.6	10.1
7	MD-1#5/60 y MD-2#4/60	22/11/2018	20/12/2018	28	4,5	1504.5	14.76	94.6	9.3
8	MD-1#5/60 y MD-2#4/60	22/11/2018	20/12/2018	28	4,5	2105.5	20.65	132.4	13.0
9	MD-1#5/60 y MD-2#4/60	22/11/2018	20/12/2018	28	4,5	1819	17.84	114.4	11.2
10	MD-1#5/60 y MD-2#4/60	22/11/2018	20/12/2018	28	4,5	1401	13.74	88.1	8.6
11	MD-2#4/40 y MD-2#5/40	23/11/2018	20/12/2018	27	4,5	1691.5	16.59	106.4	10.4
12	MD-2#4/40 y MD-2#5/40	23/11/2018	20/12/2018	27	4,5	2361	23.16	148.5	14.6
13	MD-2#4/40 y MD-2#5/40	23/11/2018	20/12/2018	27	4,5	1952	19.15	122.7	12.0
14	MD-2#4/40 y MD-2#5/40	23/11/2018	20/12/2018	27	4,5	2197	21.55	138.1	13.6
15	MD-2#4/40 y MD-2#5/40	23/11/2018	20/12/2018	27	4,5	1844	18.09	115.9	11.4



*Tabla 6.2 Ensayos de resistencia a la compresión de cilindros de mortero de pega de los muros de cortante directo*

<b>Muestra</b>	<b>Identificación</b>	<b>Fecha fabricación (dd/mm/aaaa)</b>	<b>Fecha Ensayo (dd/mm/aaaa)</b>	<b>Edad (días)</b>	<b>Ø (cm)</b>	<b>Carga Última (kg)</b>	<b>Carga Última (kN)</b>	<b>fc (kg /cm<sup>2</sup>)</b>	<b>fc (MPa)</b>
1	MC-C y MC-1#5/40	01/02/2019	01/04/2019	59	4.5	2780	27.27	174.8	17.1
2	MC-C y MC-1#5/40	01/02/2019	01/04/2019	59	4.5	3120	30.61	196.2	19.2
3	MC-C y MC-1#5/40	01/02/2019	01/04/2019	59	4.5	3090	30.31	194.3	19.1
4	MC-1#5/120	30/11/2018	07/03/2019	97	4.5	3400	33.35	213.8	21.0
5	MC-1#5/120	30/11/2018	07/03/2019	97	4.5	2500	24.53	157.2	15.4
6	MC-1#5/120	30/11/2018	07/03/2019	97	4.5	3300	32.37	207.5	20.4
7	MC-1#5/60	03/12/2018	07/03/2019	94	4.5	3500	34.34	220.1	21.6
8	MC-1#5/60	03/12/2018	07/03/2019	94	4.5	3344	32.80	210.3	20.6
9	MC-1#5/60	03/12/2018	07/03/2019	94	4.5	3290	32.27	206.9	20.3
10	MC-2#4/60	25/02/2019	01/04/2019	35	4.5	2835	27.81	178.3	17.5
11	MC-2#4/60	25/02/2019	01/04/2019	35	4.5	3095	30.36	194.6	19.1
12	MC-2#4/60	25/02/2019	01/04/2019	35	4.5	3045	29.87	191.5	18.8
13	MC-2#4/40	06/12/2018	07/03/2019	91	4.5	2836	27.82	178.3	17.5
14	MC-2#4/40	06/12/2018	07/03/2019	91	4.5	3072	30.14	193.2	18.9
15	MC-2#4/40	06/12/2018	07/03/2019	91	4.5	2899	28.44	182.3	17.9

## B. ANEXO

## RESULTADOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE MORTERO DE RELLENO

*Tabla 6.1 Ensayos de resistencia a la compresión de cilindros de mortero de relleno de los muros de compresión diagonal*

Muestra	Identificación	Fecha fabricación (dd/mm/aaaa)	Fecha Ensayo (dd/mm/aaaa)	Edad (días)	Ø (cm)	Carga Última (kg)	Carga Última (kN)	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fc (MPa)
1	MD-C y MD-1#5/140	21/11/2018	13/12/2018	22	10	10910	107.03	138.9	13.6
2	MD-C y MD-1#5/140	21/11/2018	20/12/2018	29	10	11124	109.13	141.6	13.9
3	MD-C y MD-1#5/140	21/11/2018	20/12/2018	29	10	9272	90.96	118.1	11.6
4	MD-1#5/60 y MD-2#4/60	22/11/2018	13/12/2018	21	10	9390	92.12	119.6	11.7
5	MD-1#5/60 y MD-2#4/60	22/11/2018	20/12/2018	28	10	10006	98.16	127.4	12.5
6	MD-1#5/60 y MD-2#4/60	22/11/2018	20/12/2018	28	10	8302	81.44	105.7	10.4
7	MD-2#4/40 y MD-2#5/40	23/11/2018	20/12/2018	27	10	9204	90.29	117.2	11.5
8	MD-2#4/40 y MD-2#5/40	23/11/2018	20/12/2018	27	10	9006	88.35	114.7	11.2
9	MD-2#4/40 y MD-2#5/40	23/11/2018	20/12/2018	27	10	6788	66.59	86.4	8.5
10	MD-2#4/40 y MD-2#5/40	23/11/2018	20/12/2018	27	10	7684	75.38	97.8	9.6
11	MD-2#4/40 y MD-2#5/40	23/11/2018	20/12/2018	27	10	7752	76.05	98.7	9.7

*Tabla 6.2 Ensayos de resistencia a la compresión de cilindros de mortero de relleno de los muros de cortante directo*

Muestra	Identificación	Fecha fabricación (dd/mm/aaaa)	Fecha Ensayo (dd/mm/aaaa)	Edad (días)	Ø (cm)	Carga Última (kg)	Carga Última (kN)	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fc (MPa)
1	MC-C	01/02/2019	01/04/2019	59	10	12260	120.27	156.1	15.3
2	MC-C	01/02/2019	01/04/2019	59	10	10970	107.62	139.7	13.7
3	MC-C	01/02/2019	01/04/2019	59	10	10880	106.73	138.5	13.6
4	MC-1#5/120	30/11/2018	07/03/2019	97	10	18000	176.58	229.2	22.5
5	MC-1#5/120	30/11/2018	07/03/2019	97	10	16800	164.81	213.9	21.0
6	MC-1#5/120	30/11/2018	07/03/2019	97	10	19200	188.35	244.5	24.0
7	MC-1#5/60	03/12/2018	07/03/2019	94	10	13000	127.53	165.5	16.2
8	MC-1#5/60	03/12/2018	07/03/2019	94	10	12200	119.68	155.3	15.2
9	MC-1#5/60	03/12/2018	07/03/2019	94	10	13400	131.45	170.6	16.7
10	MC-2#4/60	25/02/2019	01/04/2019	35	10	11870	116.44	151.1	14.8
11	MC-2#4/60	25/02/2019	01/04/2019	35	10	11650	114.29	148.3	14.6
12	MC-2#4/60	25/02/2019	01/04/2019	35	10	12210	119.78	155.5	15.3
13	MC-2#4/40	06/12/2018	07/03/2019	91	10	14000	137.34	178.3	17.5
14	MC-2#4/40	06/12/2018	07/03/2019	91	10	14400	141.26	183.3	18.0
15	MC-2#4/40	06/12/2018	07/03/2019	91	10	14800	145.19	188.4	18.5
16	MC-1#5/40	01/02/2019	01/04/2019	59	10	15010	147.25	191.1	18.7
17	MC-1#5/40	01/02/2019	01/04/2019	59	10	13770	135.08	175.3	17.2
18	MC-1#5/40	01/02/2019	01/04/2019	59	10	15790	154.90	201.0	19.7

## C. ANEXO

## FICHA TÉCNICA BLOQUE DE PERFORACIÓN VERTICAL BE-14

		FICHA TÉCNICA		Fecha 02/05/2018		
				Codigo: BE14		
		Referencia Externa		Referencia Kreato		
		No Aplica		BE14		Nombre
				BLOQUE DE CEMENTO LISO 14X19X39		
		ESPECIFICACIONES				
		DIMENSIONES		LARGO	ANCHO	
				39 cm	14 cm	
		COLOR		Gris - Ocre - Amarillo - Blanco - Negro - Arena - Chocolate - Rojo - Verde - Terracota		
		TEXTURA		Lisa		
		PESO SECO		12.8 Kg/un		
		RENDIMIENTO		12.5 un/m <sup>2</sup>		
		MÓDULO ROTURA- Promedio		min 13 Mpa.		
		MÓDULO ROTURA- Unidad		min 11 Mpa.		
ALMACENAMIENTO Y MANEJO		ABSORCIÓN DE AGUA		máximo 12 %		
<p>Los bloques no deben quedar acopiados directamente sobre el psio. Esto puede generar contaminación de las piezas por capilaridad. Debe cubrirse con plástico para evitar el humedecimiento. La altura de los acopios no debe superar los 1.60 m. Esto por seguridad y facilitar la manipulación. El trasiego debe hacerse con los equipos adecuados. El trasiego en carretillas o manual deteriora las piezas.</p>		RESISTENCIA AL FUEGO		Aprox 1 hora y 25 minutos, con celdas vacías. Espesor equivalente 3.31 pulg. (ACI-216)		
		TOLERANCIAS		LONGITUD	± 2 mm.	
				ANCHO	1% max.	
				ESPESOR	1% max.	
		USO Y APLICACIÓN		Mampostería Estructural y no Estructural		
		NORMATIVIDAD APLICADA		NTC 4026 - NTC 4076 - NTC 4024 - NSR 10 - ACI 216		
Gerencia Técnica - Ing. Luis Alfonso Ortiz M.		KREATO SAS.		Gerencia General KREATO		

## ENSAYO DE LOS MURETES DE MAMPOSTERÍA (OTALORA, 2017)

Los valores promedios de:  $P_{\text{máx}}$ ,  $f'_m$  y  $E_m$  en los muretes de mampostería en concreto con celdas vacías y llenas fueron los siguientes:

Murete con Celdas	$P_{\text{máx}}$ (kN)	$f'_m$ (MPa)	$E_m$ (MPa)
Vacías	513.4	6.4	6716
Llenas	800	10.1	20213

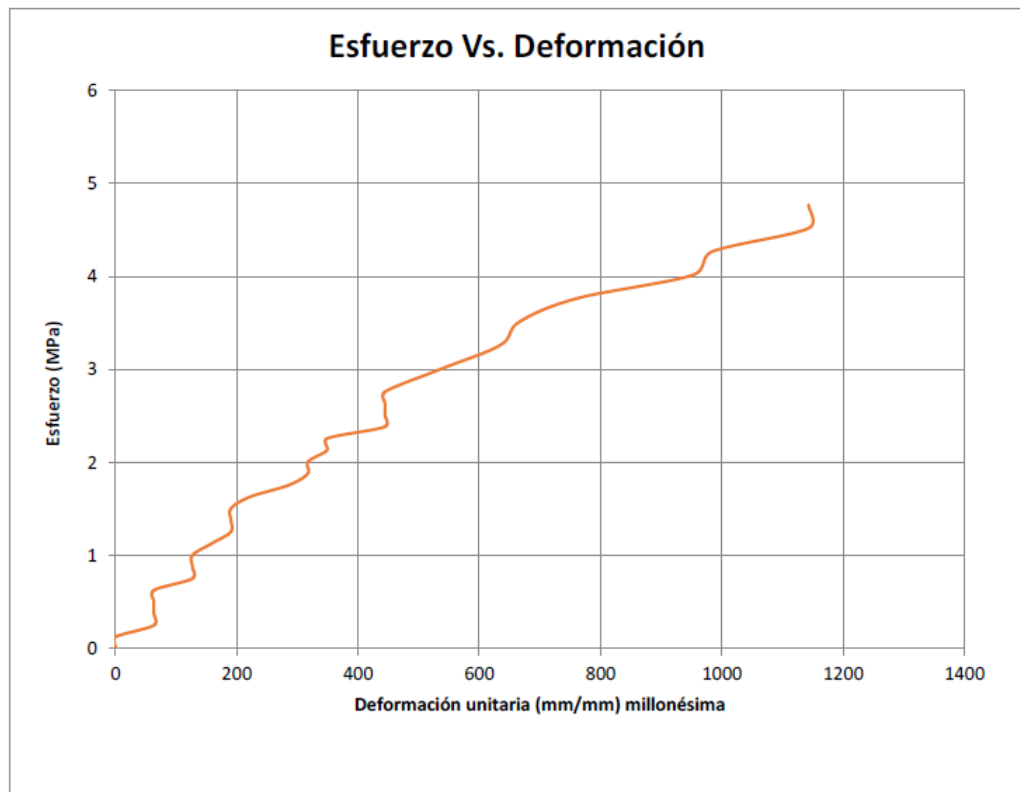
## a. Ensayo a Compresión Murete 1

Murete con 3 celdas sin rellenar

Alto: 389 mm

Largo: 590 mm

Espesor: 140 mm



P máx: 39910 kgf

f'm: 5.01 MPa

Em: 7159 MPa

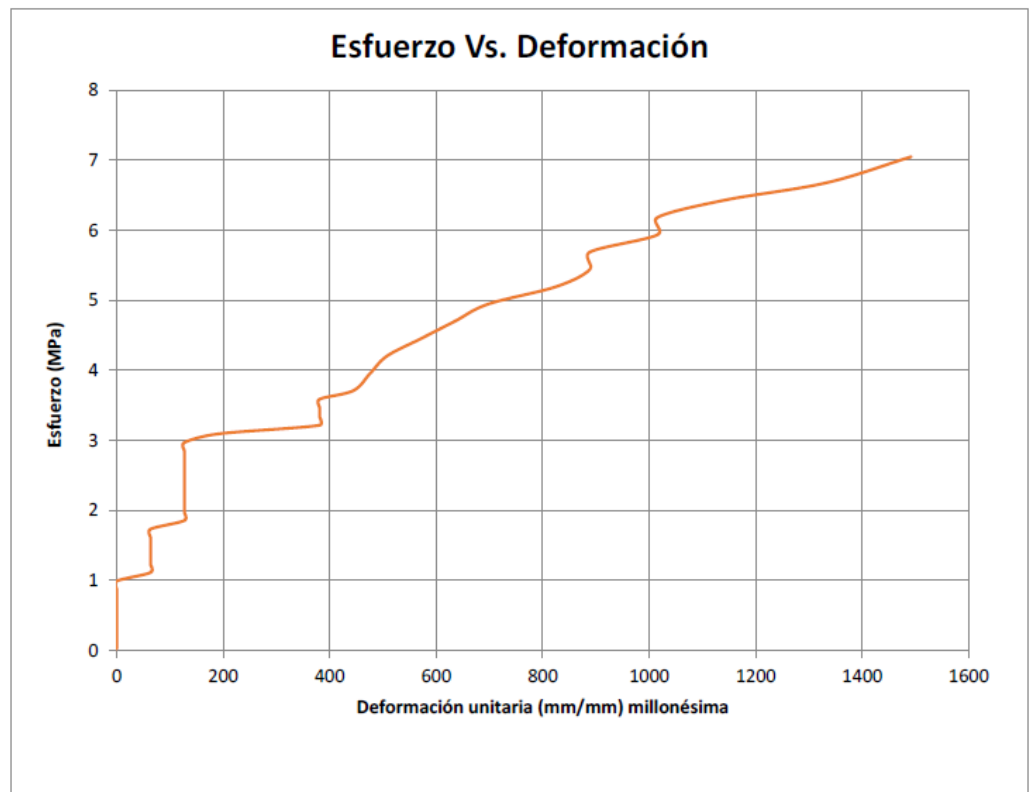
## b. Ensayo a Compresión Murete 2

Murete con 3 celdas sin rellenar

Alto: 395 mm

Largo: 600 mm

Espesor: 140 mm



P máx: 57440 kgf

f'm: 7.11 MPa

Em: 5261 MPa



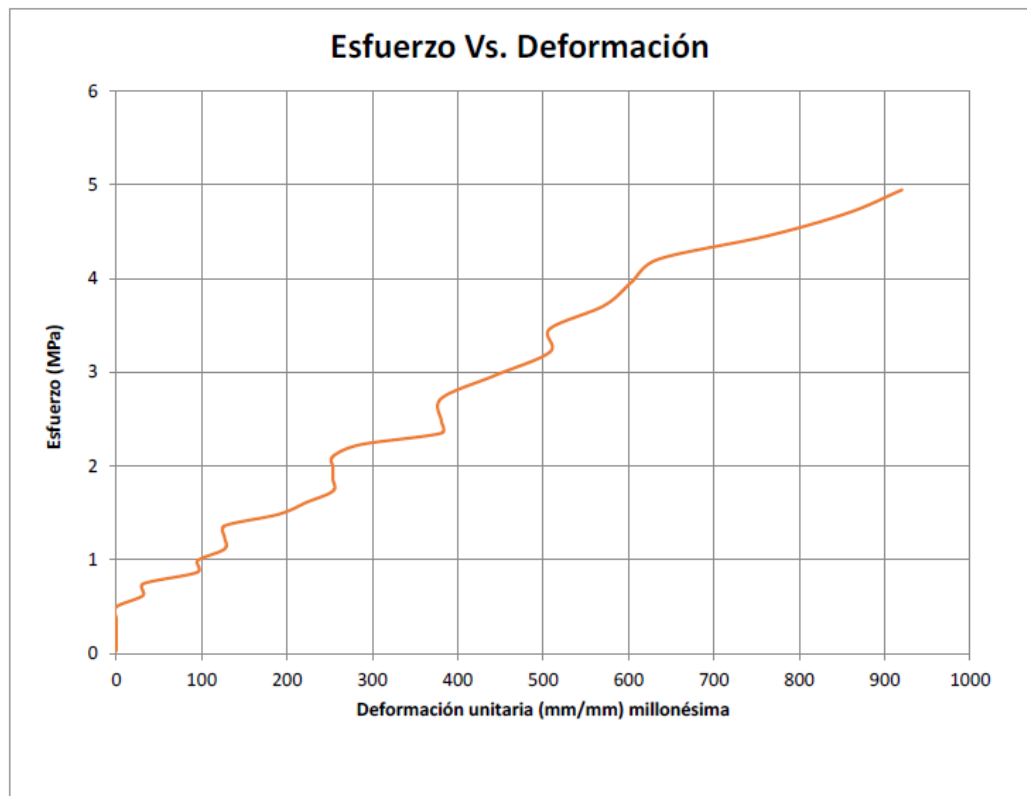
### c. Ensayo a Compresión Murete 3

Murete con 3 celdas sin rellenar

Alto: 395 mm

Largo: 600 mm

Espesor: 140 mm



P máx: 56670 kgf

f'm: 7.01 MPa

Em: 7728 MPa

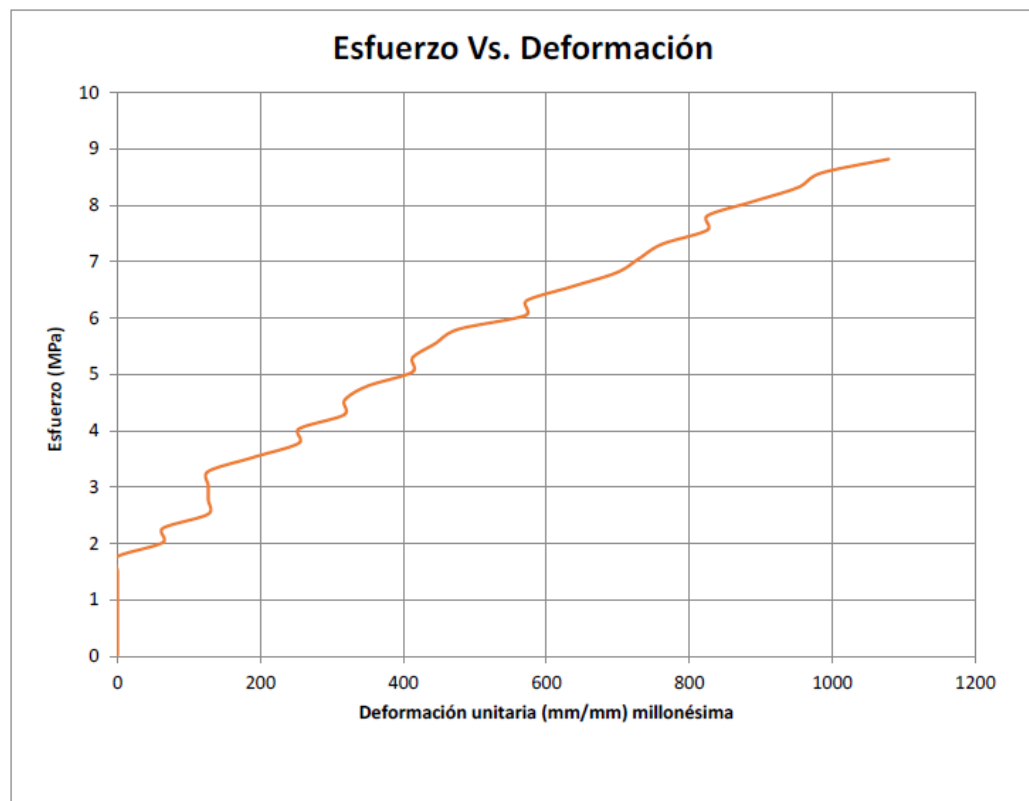
#### d. Ensayo a Compresión Murete 4

Murete con 3 celdas llenas

Alto: 400 mm

Largo: 590 mm

Espesor: 140 mm



P máx: 80000 kgf

f'm: 10.08 MPa

Em: 20213 MPa

## D. ANEXO

## RESULTADOS ENSAYOS DE TENSIÓN DE LAS BARRAS DE GFRP

Tabla 6.1 Características Muestra 1 barra GFRP #5

<b>Muestra</b>	1
<b>Marca</b>	V-ROD
<b>Material</b>	GFRP
<b>Ø nominal</b>	15 mm
<b>Ø Efectivo</b>	17.22 mm
<b>A Efectiva</b>	232.9 mm <sup>2</sup>
<b>L ensayo</b>	250 mm

Tabla 6.2 Datos de la curva Esfuerzo-Deformación Unitaria Muestra 1 barra GFRP #5

<b>Carga</b>		<b>Esfuerzo</b>	<b>Deformación</b>	<b>ε Unitaria</b>
<b>(kg)</b>	<b>(N)</b>	<b>(MPa)</b>	<b>(x10<sup>-2</sup> mm)</b>	<b>(mm/mm)</b>
0	0	0	0,0	0,0000
1000	9810	42	20,0	0,0008
2000	19620	84	39,0	0,0016
3000	29430	126	57,5	0,0023
4000	39240	168	78,0	0,0031
5000	49050	211	98,0	0,0039
6000	58860	253	117,5	0,0047
7000	68670	295	135,0	0,0054
8000	78480	337	157,5	0,0063
9000	88290	379	176,5	0,0071
10000	98100	421	196,0	0,0078
11000	107910	463	216,0	0,0086
12000	117720	505	235,0	0,0094
13000	127530	548	254,5	0,0102
14000	137340	590	274,0	0,0110
15000	147150	632	294,0	0,0118
16000	156960	674	314,0	0,0126
17000	166770	716	334,0	0,0134
18000	176580	758	354,0	0,0142
18810	184526	792	368,9	0,0148

Tabla 6.3 Propiedades Mecánicas Muestra 1 barra GFRP #5

<b>σ<sub>u</sub> GFRP</b>	792 MPa
<b>E<sub>GFRP</sub></b>	53700 MPa
<b>E<sub>u</sub> GFRP</b>	0,0148 mm/mm

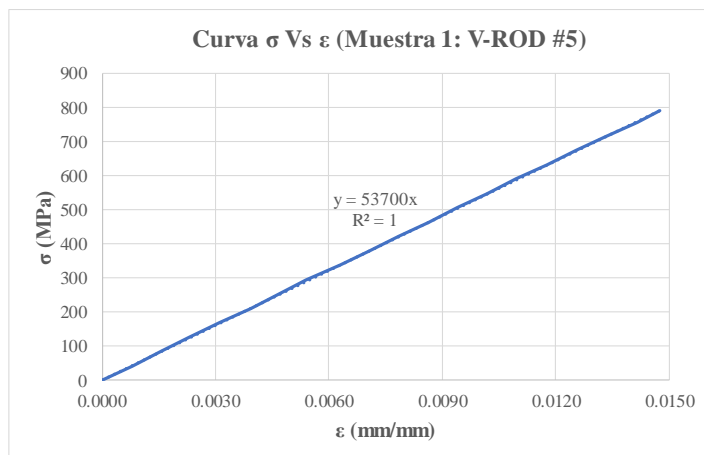


Figura 6.1 Curva Esfuerzo-Deformación Unitaria Muestra 1 barra GFRP #5

Tabla 6.4 Características Muestra 2 barra GFRP #5

<b>Muestra</b>	2
<b>Marca</b>	V-ROD
<b>Material</b>	GFRP
<b>Ø nominal</b>	15 mm
<b>Ø Efectivo</b>	17.22 mm
<b>A Efectiva</b>	232.9 mm <sup>2</sup>
<b>L ensayo</b>	250 mm

Tabla 6.5 Datos de la curva Esfuerzo-Deformación Unitaria Muestra 2 barra GFRP #5

<b>Carga</b>		<b>Esfuerzo</b>	<b>Deformación</b>	<b>ε Unitaria</b>
<b>(kg)</b>	<b>(N)</b>	<b>(MPa)</b>	<b>(x10<sup>-2</sup> mm)</b>	<b>(mm/mm)</b>
0	0	0	0,0	0,0000
1000	9810	42	19,0	0,0008
2000	19620	84	36,0	0,0014
3000	29430	126	54,5	0,0022
4000	39240	168	73,5	0,0029
5000	49050	211	93,0	0,0037
6000	58860	253	113,0	0,0045
7000	68670	295	132,0	0,0053
8000	78480	337	151,0	0,0060
9000	88290	379	170,0	0,0068
10000	98100	421	189,5	0,0076
11000	107910	463	210,0	0,0084
12000	117720	505	229,0	0,0092
13000	127530	548	248,0	0,0099
14000	137340	590	268,0	0,0107
15000	147150	632	289,0	0,0116

16000	156960	674	311,0	0,0124
18860	185017	794	360,5	0,0144

Tabla 6.6 Propiedades Mecánicas Muestra 2 barra GFRP #5

<b><math>\sigma_u</math> GFRP</b>	794 MPa
<b>E GFRP</b>	55086 MPa
<b><math>E_u</math> GFRP</b>	0,0144 mm/mm

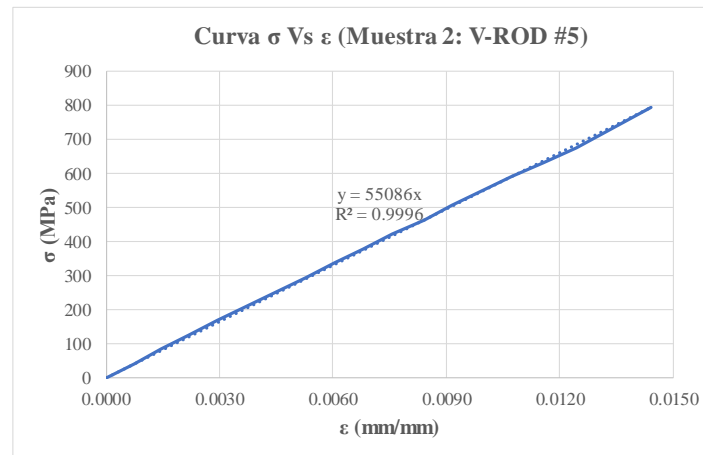


Figura 6.2 Curva Esfuerzo-Deformación Unitaria Muestra 2 barra GFRP #5

Tabla 6.7 Características Muestra 3 barra GFRP #4

<b>Muestra</b>	3
<b>Marca</b>	V-ROD
<b>Material</b>	GFRP
<b>Ø Nominal</b>	12.00 mm
<b>Ø Efectivo</b>	13.59 mm
<b>A Efectiva</b>	145.0 mm <sup>2</sup>
<b>L ensayo</b>	250 mm

Tabla 6.8 Datos de la curva Esfuerzo-Deformación Unitaria Muestra 3 barra GFRP #4

Carga		Esfuerzo	Deformación	$\varepsilon$ Unitaria
(kg)	(N)	(MPa)	(x10 <sup>-2</sup> mm)	(mm/mm)
0	0	0	0,0	0,0000
500	4905	34	14,0	0,0006
1000	9810	68	29,0	0,0012
1500	14715	101	44,0	0,0018
2000	19620	135	58,0	0,0023
2500	24525	169	73,0	0,0029
3000	29430	203	88,0	0,0035
3500	34335	237	103,0	0,0041

4000	39240	271	118,5	0,0047
4500	44145	304	134,0	0,0054
5000	49050	338	153,0	0,0061
5500	53955	372	164,0	0,0066
6000	58860	406	179,0	0,0072
6500	63765	440	195,0	0,0078
7000	68670	474	210,0	0,0084
7500	73575	507	225,0	0,0090
8000	78480	541	240,0	0,0096
8500	83385	575	255,0	0,0102
9000	88290	609	271,0	0,0108
9500	93195	643	286,0	0,0114
10000	98100	677	302,0	0,0121
15152	148641	1025	454,7	0,0182

Tabla 6.9 Propiedades Mecánicas Muestra 3 barra GFRP #4

<b><math>\sigma_u</math> GFRP</b>	1025 MPa
<b>E GFRP</b>	56359 MPa
<b><math>E_u</math> GFRP</b>	0,0182 mm/mm

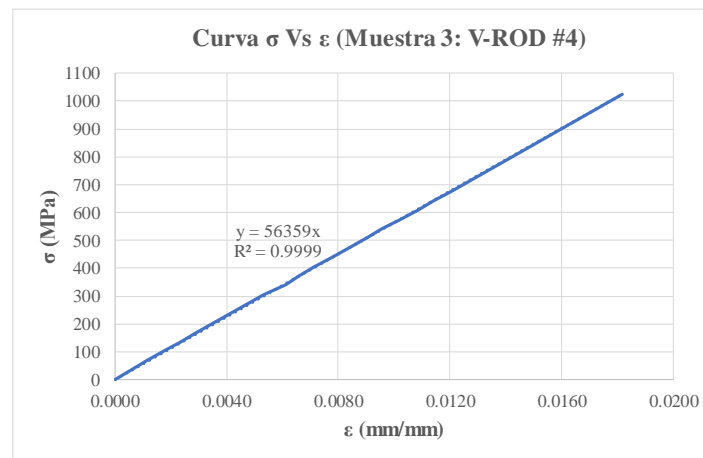


Figura 6.3 Curva Esfuerzo-Deformación Unitaria Muestra 3 barra GFRP #4

Tabla 6.10 Características Muestra 4 barra GFRP #4

<b>Muestra</b>	4
<b>Marca</b>	V-ROD
<b>Material</b>	GFRP
<b><math>\varnothing</math> Nominal</b>	12.00 mm
<b><math>\varnothing</math> Efectivo</b>	13.59 mm
<b>A Efectiva</b>	145.0 mm <sup>2</sup>
<b>L ensayo</b>	250 mm

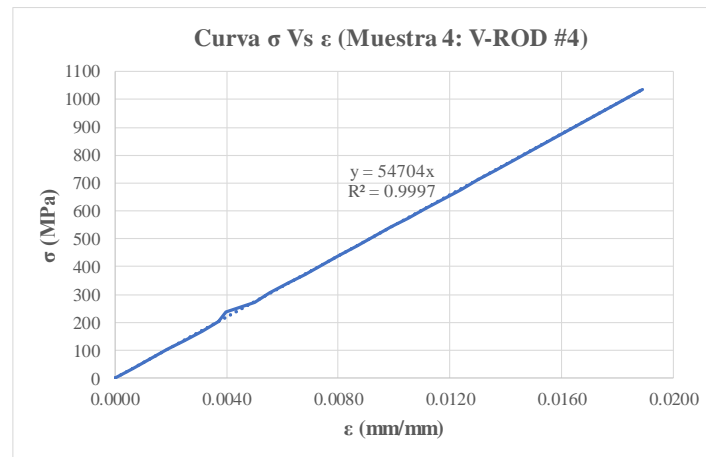


*Tabla 6.11 Datos de la curva Esfuerzo-Deformación Unitaria Muestra 4 barra GFRP #4*

Carga		Esfuerzo	Deformación	$\varepsilon$ Unitaria
(kg)	(N)	(MPa)	( $\times 10^{-2}$ mm)	(mm/mm)
0	0	0	0,0	0,0000
500	4905	34	16,0	0,0006
1000	9810	68	32,0	0,0013
1500	14715	101	47,0	0,0019
2000	19620	135	62,5	0,0025
2500	24525	169	78,0	0,0031
3000	29430	203	93,0	0,0037
3500	34335	237	99,0	0,0040
4000	39240	271	125,0	0,0050
4500	44145	304	139,0	0,0056
5000	49050	338	154,5	0,0062
5500	53955	372	170,0	0,0068
6000	58860	406	185,0	0,0074
6500	63765	440	201,0	0,0080
7000	68670	474	216,5	0,0087
7500	73575	507	232,0	0,0093
8000	78480	541	247,0	0,0099
8500	83385	575	263,0	0,0105
9000	88290	609	278,0	0,0111
9500	93195	643	294,0	0,0118
10000	98100	677	310,0	0,0124
10500	103005	710	325,0	0,0130
11000	107910	744	341,0	0,0136
15282	149916	1034	472,5	0,0189

*Tabla 6.12 Propiedades Mecánicas Muestra 4 barra GFRP #4*

<b><math>\sigma_u</math> GFRP</b>	1034 MPa
<b>E GFRP</b>	54704 MPa
<b><math>\varepsilon_u</math> GFRP</b>	0,0189 mm/mm



*Figura 6.4 Curva Esfuerzo-Deformación Unitaria Muestra 4 barra GFRP #4*

## E. ANEXO

## FICHA TÉCNICA DE LAS BARRAS DE GFRP



## Product Data Sheet - V•ROD 60

REVISION: APRIL 2017

		#3 (10M)	#4 (12M)	#5 (15M)	#6 (20M)	#8 (25M)
Guaranteed tensile strength* (ASTM D7205)	MPa	1100	1100	1100	1100	1100
	ksi	159,5	159,5	159,5	159,5	159,5
Minimum tensile modulus (ASTM D7205)	GPa	60				
	ksi	8702,3				
Guaranteed transverse shear capacity (ASTM D7617)	MPa	180				
	ksi	26,1				
Resin		vinylester				
Weight	g/m	175	310	442	633	1127
	lb/ft	0,118	0,208	0,297	0,425	0,757
Effective cross-sectional area (including sand coating)** (CSA S806 Annex A)	mm <sup>2</sup>	83,8	145	232,9	326,8	572,3
	in <sup>2</sup>	0,130	0,225	0,361	0,507	0,887
Effective diameter	mm	10,33	13,59	17,22	20,39	26,99
	in	0,407	0,535	0,678	0,803	1,063
Nominal cross-sectional area (CSA S807 Table 1)	mm <sup>2</sup>	71	129	199	284	510
	in <sup>2</sup>	0,110	0,199	0,308	0,440	0,790

## COMPLIES WITH THE FOLLOWING STANDARDS ;

- GRADE III CSA
- GRADE III MTO
- NORME ASTM D30.10

\* The nominal guaranteed tensile strength must not be used to calculate the strength of the bent portion of a bent bar. Instead use the minimum guaranteed tensile strength found in the technical data sheet of bent V•ROD bars.

\*\* Please contact **Pultrall** for dowelling applications.

Development and splice length are available upon request but should be determined by the design engineer.

The guaranteed value presented in this document is the mean value minus 3 times the standard deviation.

It is the responsibility of the design engineers to contact the bar manufacturer to get the latest updates of this technical data sheet (also available at [www.vrod.ca](http://www.vrod.ca)). For any additional technical results or literature, please contact **Pultrall**.

700, 9° Rue Nord, Thetford Mines (Quebec) G6G 6Z5 CANADA  
Telephone: 418 335-3202 | Fax: 418 335-5117 | [www.vrod.ca](http://www.vrod.ca)

## **F. ANEXO**

### **RESULTADOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN DIAGONAL**

Tabla 6.1 Ensayo de Compresión Diagonal Muro MD-C

Especimen	MD-C		Carga (kg)	Carga (kN)	Celda	Cara Frontal		Cara Posterior		Cara Frontal		Cara Posterior		Δprom II Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δprom I Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)	γ (mm/mm)	Ss (MPa)
	Fecha	Hora				δ1 II Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	δ2 I Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)	δ3 II Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	δ4 I Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ1 II Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ2 I Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ3 II Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ4 I Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)				
			0	0.00	0	1816.00	3340.00	2777.70	2590.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.000	
			262	2.57	3	1816.33	3339.94	2777.80	2589.94	0.33	-0.06	0.10	-0.06	0.22	0.000003	0.016	
			523	5.13	6	1816.66	3339.89	2777.90	2589.89	0.66	-0.11	0.20	-0.11	0.43	0.000007	0.033	
			785	7.70	9	1817.00	3339.83	2778.00	2589.83	1.00	-0.17	0.30	-0.17	0.65	0.000010	0.049	
			1047	10.27	12	1818.00	3339.78	2778.29	2589.78	2.00	-0.22	0.59	-0.22	1.30	0.000019	0.065	
			1308	12.84	15	1819.00	3339.72	2778.57	2589.72	3.00	-0.28	0.87	-0.28	1.94	0.000028	0.082	
			1570	15.40	18	1820.00	3339.67	2778.86	2589.67	4.00	-0.33	1.16	-0.33	2.58	0.000036	0.098	
			1832	17.97	21	1821.00	3339.61	2779.14	2589.61	5.00	-0.39	1.44	-0.39	3.22	0.000045	0.114	
			2093	20.54	24	1822.00	3339.56	2779.43	2589.56	6.00	-0.44	1.73	-0.44	3.87	0.000054	0.130	
			2355	23.10	27	1823.00	3339.50	2779.71	2589.50	7.00	-0.50	2.01	-0.50	4.51	0.000063	0.147	
			2617	25.67	30	1824.00	3339.44	2780.00	2589.44	8.00	-0.56	2.30	-0.56	5.15	0.000071	0.163	
			2878	28.24	33	1825.00	3339.39	2781.00	2589.39	9.00	-0.61	3.30	-0.61	6.15	0.000085	0.179	
			3140	30.80	36	1826.00	3339.33	2783.00	2589.33	10.00	-0.67	5.30	-0.67	7.65	0.000104	0.196	
			3402	33.37	39	1826.50	3339.28	2783.20	2589.28	10.50	-0.72	5.50	-0.72	8.00	0.000109	0.212	
			3663	35.94	42	1827.00	3339.22	2783.40	2589.22	11.00	-0.78	5.70	-0.78	8.35	0.000114	0.228	
			3925	38.51	45	1828.00	3339.17	2783.60	2589.17	12.00	-0.83	5.90	-0.83	8.95	0.000122	0.245	
			4187	41.07	48	1829.00	3339.11	2783.80	2589.11	13.00	-0.89	6.10	-0.89	9.55	0.000131	0.261	
			4448	43.64	51	1830.00	3339.06	2784.00	2589.06	14.00	-0.94	6.30	-0.94	10.15	0.000139	0.277	
			4710	46.21	54	1831.00	3339.00	2784.20	2589.00	15.00	-1.00	6.50	-1.00	10.75	0.000147	0.294	

P <sub>40%</sub> (kg)	1884
Ss <sub>2</sub> (MPa)	0.117
Ss <sub>1</sub> (MPa)	0.123
γ <sub>2</sub> (mm/mm)	0.000047
γ <sub>1</sub> (mm/mm)	0.000050
G (MPa)	1877

Fecha	19/12/2018
Hora	03:40:00 p. m.
Longitud	800 mm
Celda	87.225
Area neta diagonal	157388 mm <sup>2</sup>

Tabla 6.2 Ensayo de Compresión Diagonal Muro MD-1#5/140

Especimen	MD-1#5/140		Carga (kg)	Carga (kN)	Cara Frontal		Cara Posterior		Cara Frontal		Cara Posterior		Δprom ∥ Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δprom ⊥ Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)	γ (mm/mm)	Ss (MPa)
	Fecha	Horario			δ1 ∥ Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	δ2 ⊥ Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)	δ3 ∥ Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	δ4 ⊥ Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ1 ∥ Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ2 ⊥ Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ3 ∥ Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ4 ⊥ Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)				
			0	0.00	2135.00	1781.00	3066.00	2194.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.0000	
			436	4.28	2135.20	1780.00	3066.10	2193.96	0.20	-1.00	0.10	-0.04	0.15	0.52	0.000008	0.024
			872	8.56	2135.40	1779.00	3066.20	2193.93	0.40	-2.00	0.20	-0.07	0.30	1.04	0.000017	0.048
			1308	12.84	2135.60	1778.00	3066.30	2193.89	0.60	-3.00	0.30	-0.11	0.45	1.56	0.000025	0.072
			1745	17.11	2135.80	1777.00	3066.40	2193.85	0.80	-4.00	0.40	-0.15	0.60	2.08	0.000033	0.097
			2181	21.39	2136.00	1776.50	3066.50	2193.81	1.00	-4.50	0.50	-0.19	0.75	2.35	0.000039	0.121
			2617	25.67	2137.00	1776.00	3066.60	2193.78	2.00	-5.00	0.60	-0.22	1.30	2.61	0.000049	0.145
			3053	29.95	2139.00	1775.50	3066.70	2193.74	4.00	-5.50	0.70	-0.26	2.35	2.88	0.000065	0.169
			3489	34.23	2140.00	1775.00	3066.80	2193.70	5.00	-6.00	0.80	-0.30	2.90	3.15	0.000076	0.193
			3925	38.51	2140.50	1774.66	3066.90	2193.67	5.50	-6.34	0.90	-0.33	3.20	3.33	0.000082	0.217
			4361	42.78	2141.00	1774.33	3067.00	2193.63	6.00	-6.67	1.00	-0.37	3.50	3.52	0.000088	0.241
			4797	47.06	2142.00	1774.00	3067.50	2193.59	7.00	-7.00	1.50	-0.41	4.25	3.70	0.000099	0.265
			5234	51.34	2142.50	1773.66	3068.00	2193.56	7.50	-7.34	2.00	-0.44	4.75	3.89	0.000108	0.290
			5670	55.62	2143.00	1773.33	3070.00	2193.52	8.00	-7.67	4.00	-0.48	6.00	4.08	0.000126	0.314
			6106	59.90	2144.00	1773.00	3071.00	2193.48	9.00	-8.00	5.00	-0.52	7.00	4.26	0.000141	0.338
			6542	64.18	2145.00	1772.75	3072.00	2193.44	10.00	-8.25	6.00	-0.56	8.00	4.40	0.000155	0.362
			6978	68.45	2145.50	1772.50	3073.00	2193.41	10.50	-8.50	7.00	-0.59	8.75	4.55	0.000166	0.386
			7414	72.73	2146.00	1772.25	3075.00	2193.37	11.00	-8.75	9.00	-0.63	10.00	4.69	0.000184	0.410
			7850	77.01	2147.00	1772.00	3076.00	2193.33	12.00	-9.00	10.00	-0.67	11.00	4.84	0.000198	0.434
			8286	81.29	2148.00	1771.50	3077.00	2193.30	13.00	-9.50	11.00	-0.70	12.00	5.10	0.000214	0.459
			8723	85.57	2149.00	1771.00	3077.50	2193.26	14.00	-10.00	11.50	-0.74	12.75	5.37	0.000226	0.483
			9159	89.85	2149.50	1770.00	3078.00	2193.22	14.50	-11.00	12.00	-0.78	13.25	5.89	0.000239	0.507
			9595	94.12	2150.00	1769.00	3079.00	2193.19	15.00	-12.00	13.00	-0.81	14.00	6.40	0.000255	0.531
			10031	98.40	2151.00	1767.00	3082.00	2193.15	16.00	-14.00	16.00	-0.85	16.00	7.42	0.000293	0.555
			10467	102.68	2153.00	1765.00	3083.00	2193.11	18.00	-16.00	17.00	-0.89	17.50	8.44	0.000324	0.579
			10903	106.96	2155.00	1762.00	3087.00	2193.07	20.00	-19.00	21.00	-0.93	20.50	9.96	0.000381	0.603
			11339	111.24	2156.00	1760.00	3090.00	2193.04	21.00	-21.00	24.00	-0.96	22.50	10.98	0.000419	0.627
			11601	113.81	2157.00	1758.00	3092.00	2193.00	22.00	-23.00	26.00	-1.00	24.00	12.00	0.000450	0.642

P <sub>40%</sub> (kg)	4640
S <sub>s2</sub> (MPa)	0.257
S <sub>s1</sub> (MPa)	0.146
γ <sub>2</sub> (mm/mm)	0.000095
γ <sub>1</sub> (mm/mm)	0.000050
G (MPa)	2439

Especimen	MD-1#5/140
Fecha	19/12/2018
Hora	10:40:00 a. m.
Longitud	800 mm
Celda	87.225
Area meta diagonal	177292 mm <sup>2</sup>



Tabla 6.3 Ensayo de Compresión Diagonal Muro MD-1#5/60

Especimen	MD-1#5/60		Carga (kg)	Carga (kN)	Celda	Cara Frontal		Cara Posterior		Cara Frontal		Cara Posterior		$\Delta$ prom II Compresión ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta$ prom I Tracción ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\gamma$ (mm/mm)	Ss (MPa)
	Fecha	Horario				$\delta 1$ II Compresión ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\delta 2$ I Tracción ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\delta 3$ II Compresión ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\delta 4$ I Tracción ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 1$ II Compresión ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 2$ I Tracción ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 3$ II Compresión ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 4$ I Tracción ( $\times 10^{-2}$ mm)				
P <sub>40%</sub> (kg)			3663														
Ss <sub>2</sub> (MPa)			0.182														
Ss <sub>1</sub> (MPa)			0.172														
$\gamma_2$ (mm/mm)			0.000056														
$\gamma_1$ (mm/mm)			0.000050														
G (MPa)			1562														
262	2.57	3	2400.00	2007.00	1882.00	2349.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.013	
436	4.28	5	2400.14	2006.95	1882.10	2348.66	0.14	0.10	0.10	-0.34	0.20	0.000004	0.022	0.20	0.000004	0.022	
872	8.56	10	2400.29	2006.90	1882.20	2348.33	0.29	0.20	0.20	-0.67	0.38	0.000008	0.043	0.38	0.000008	0.043	
1308	12.84	15	2400.43	2006.86	1882.30	2348.00	0.43	0.30	0.30	-1.00	0.57	0.000012	0.065	0.57	0.000012	0.065	
1745	17.11	20	2400.57	2006.81	1882.40	2347.50	0.57	0.40	0.40	-1.50	0.85	0.000017	0.087	0.85	0.000017	0.087	
2181	21.39	25	2400.71	2006.76	1882.50	2347.00	0.71	0.50	0.50	-2.00	1.12	0.000022	0.108	1.12	0.000022	0.108	
2617	25.67	30	2400.86	2006.71	1882.60	2346.00	0.86	0.60	0.60	-3.00	1.64	0.000030	0.130	1.64	0.000030	0.130	
3053	29.95	35	2401.00	2006.67	1882.70	2345.50	1.00	0.70	0.70	-3.50	1.91	0.000035	0.152	1.91	0.000035	0.152	
3489	34.23	40	2403.00	2006.62	1882.80	2345.00	3.00	0.80	0.80	-4.00	2.19	0.000051	0.174	2.19	0.000051	0.174	
3925	38.51	45	2404.00	2006.57	1882.90	2344.00	4.00	0.90	0.90	-5.00	2.72	0.000065	0.195	2.72	0.000065	0.195	
4361	42.78	50	2404.50	2006.52	1883.00	2343.00	4.50	1.00	1.00	-6.00	3.24	0.000075	0.217	3.24	0.000075	0.217	
4797	47.06	55	2405.00	2006.48	1883.50	2342.00	5.00	1.50	1.50	-7.00	3.76	0.000088	0.239	3.76	0.000088	0.239	
5234	51.34	60	2406.00	2006.43	1884.00	2341.00	6.00	2.00	2.00	-8.00	4.28	0.000104	0.260	4.28	0.000104	0.260	
5670	55.62	65	2407.00	2006.38	1885.83	2340.00	7.00	3.83	3.83	-9.00	4.81	0.000128	0.282	4.81	0.000128	0.282	
6106	59.90	70	2408.00	2006.33	1887.66	2339.00	8.00	5.66	5.66	-10.00	5.34	0.000152	0.304	5.34	0.000152	0.304	
6542	64.18	75	2410.00	2006.29	1889.50	2338.50	10.00	7.50	7.50	-10.50	5.61	0.000179	0.325	5.61	0.000179	0.325	
6978	68.45	80	2412.00	2006.24	1891.33	2338.00	12.00	9.33	9.33	-11.00	5.88	0.000207	0.347	5.88	0.000207	0.347	
7414	72.73	85	2413.00	2006.19	1893.17	2335.00	13.00	11.17	11.17	-14.00	7.40	0.000244	0.369	7.40	0.000244	0.369	
7850	77.01	90	2415.00	2006.14	1895.00	2331.00	15.00	13.00	13.00	-18.00	9.43	0.000293	0.391	9.43	0.000293	0.391	
8286	81.29	95	2417.00	2006.10	1898.00	2327.50	17.00	16.00	16.00	-21.50	11.20	0.000346	0.412	11.20	0.000346	0.412	
8723	85.57	100	2420.00	2006.05	1900.00	2324.00	20.00	18.00	18.00	-25.00	12.98	0.000400	0.434	12.98	0.000400	0.434	
9159	89.85	105	2422.00	2006.00	1910.00	2320.00	22.00	28.00	28.00	-29.00	15.00	0.000500	0.456	15.00	0.000500	0.456	

Tabla 6.4 Ensayo de Compresión Diagonal Muro MD-2#4/60

Especimen		MD-2#4/60	
Fecha	20/12/2018	P <sub>40%</sub> (kg)	4012
Hora	11:50:00 a. m.	Ss <sub>2</sub> (MPa)	0.200
Longitud	800 mm	Ss <sub>1</sub> (MPa)	0.149
Celda	87.225	γ <sub>1</sub> (mm/mm)	0.000065
Area meta diagonal	197204 mm <sup>2</sup>	γ <sub>2</sub> (mm/mm)	0.000050
		G (MPa)	3276

Carga (kg)	Carga (kN)	Celda	Cara Frontal		Cara Posterior		Cara Frontal		Cara Posterior		Apron II Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	Apron I Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)	γ (mm/mm)	Ss (MPa)
			δ1    Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	δ2 ⊥ Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)	δ3    Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	δ4 ⊥ Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ1    Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ2 ⊥ Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ3    Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ4 ⊥ Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)				
174	1.71	2	3594.00	1829.00	2772.00	877.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.009	
436	4.28	5	3594.67	1828.96	2771.75	876.80	0.67	-0.04	-0.25	-0.20	0.46	0.000007	0.022	
872	8.56	10	3595.33	1828.91	2771.50	876.60	1.33	-0.09	-0.50	-0.40	0.91	0.000014	0.043	
1308	12.84	15	3596.00	1828.87	2771.25	876.40	2.00	-0.13	-0.75	-0.60	1.38	0.000022	0.065	
1745	17.11	20	3597.00	1828.83	2771.00	876.20	3.00	-0.17	-1.00	-0.80	2.00	0.000031	0.087	
2181	21.39	25	3598.00	1828.78	2771.60	876.00	4.00	-0.22	-0.40	-1.00	2.20	0.000035	0.108	
2617	25.67	30	3599.00	1828.74	2772.20	875.93	5.00	-0.26	0.20	-1.07	2.60	0.000041	0.130	
3053	29.95	35	3600.00	1828.70	2772.80	875.87	6.00	-0.30	0.80	-1.13	3.40	0.000051	0.152	
3489	34.23	40	3600.33	1828.65	2773.40	875.80	6.33	-0.35	1.40	-1.20	3.87	0.000058	0.174	
3925	38.51	45	3600.66	1828.61	2774.00	875.73	6.66	-0.39	2.00	-1.27	4.33	0.000064	0.195	
4361	42.78	50	3601.00	1828.57	2774.33	875.67	7.00	-0.43	2.33	-1.33	4.66	0.000069	0.217	
4797	47.06	55	3602.00	1828.52	2774.66	875.60	8.00	-0.48	2.66	-1.40	5.33	0.000078	0.239	
5234	51.34	60	3603.00	1828.48	2775.00	875.53	9.00	-0.52	3.00	-1.47	6.00	0.000087	0.260	
5670	55.62	65	3604.00	1828.43	2775.40	875.47	10.00	-0.57	3.40	-1.53	6.70	0.000097	0.282	
6106	59.90	70	3605.00	1828.39	2775.80	875.40	11.00	-0.61	3.80	-1.60	7.40	0.000106	0.304	
6542	64.18	75	3606.00	1828.35	2776.20	875.33	12.00	-0.65	4.20	-1.67	8.10	0.000116	0.325	
6978	68.45	80	3608.00	1828.30	2776.60	875.27	14.00	-0.70	4.60	-1.73	9.30	0.000131	0.347	
7414	72.73	85	3610.00	1828.26	2777.00	875.20	16.00	-0.74	5.00	-1.80	10.50	0.000147	0.369	
7850	77.01	90	3612.00	1828.22	2779.00	875.13	18.00	-0.78	7.00	-1.87	12.50	0.000173	0.391	
8286	81.29	95	3615.00	1828.17	2781.00	875.07	21.00	-0.83	9.00	-1.93	15.00	0.000205	0.412	
8723	85.57	100	3619.00	1828.13	2784.00	875.00	25.00	-0.87	12.00	-2.00	18.50	0.000249	0.434	
9159	89.85	105	3623.00	1828.09	2788.00	875.00	29.00	-0.91	16.00	-5.00	22.50	0.000318	0.456	
9595	94.12	110	3627.00	1828.04	2791.00	869.00	33.00	-0.96	19.00	-8.00	26.00	0.000381	0.477	
10031	98.40	115	3631.00	1828.00	2794.00	868.50	37.00	-1.00	22.00	-8.50	29.50	0.000428	0.499	

Tabla 6.5 Ensayo de Compresión Diagonal Muro MD-2#4/40

Especimen	MD-2#4/40	Cara Frontal				Cara Posterior				Cara Frontal				Cara Posterior			
		Carga (kg)	Celda	$\delta 1 \perp$ Compresión ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\delta 2 \perp$ Tracción ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\delta 3 \parallel$ Compresión ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\delta 4 \perp$ Tracción ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 1 \parallel$ Compresión ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 2 \perp$ Tracción ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 3 \parallel$ Compresión ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 4 \perp$ Tracción ( $\times 10^{-2}$ mm)	Aprom II Compresión ( $\times 10^{-2}$ mm)	Aprom I Tracción ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\gamma$ (mm/mm)	Ss (MPa)		
0	0.00	0	2174.00	1843.00	1680.00	1390.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.000		
436	4.28	5	2174.03	1842.66	1680.25	1389.90	0.03	-0.34	0.25	-0.10	0.14	0.22	0.000005	0.020			
872	8.56	10	2174.06	1842.33	1680.50	1389.80	0.06	-0.67	0.50	-0.20	0.28	0.44	0.000009	0.039			
1308	12.84	15	2174.10	1842.00	1680.75	1389.70	0.10	-1.00	0.75	-0.30	0.42	0.65	0.000013	0.059			
1745	17.11	20	2174.13	1841.00	1681.00	1389.60	0.13	-2.00	1.00	-0.40	0.57	1.20	0.000022	0.079			
2181	21.39	25	2174.16	1840.75	1681.33	1389.50	0.16	-2.25	1.33	-0.50	0.74	1.38	0.000026	0.099			
2617	25.67	30	2174.19	1840.50	1681.66	1389.40	0.19	-2.50	1.66	-0.60	0.93	1.55	0.000031	0.118			
3053	29.95	35	2174.23	1840.25	1682.00	1389.30	0.23	-2.75	2.00	-0.70	1.12	1.73	0.000036	0.138			
3489	34.23	40	2174.26	1840.00	1682.33	1389.20	0.26	-3.00	2.33	-0.80	1.30	1.90	0.000040	0.158			
3925	38.51	45	2174.29	1839.66	1682.66	1389.10	0.29	-3.34	2.66	-0.90	1.48	2.12	0.000045	0.177			
4361	42.78	50	2174.32	1839.33	1683.00	1389.00	0.32	-3.67	3.00	-1.00	1.66	2.34	0.000050	0.197			
4797	47.06	55	2174.35	1839.00	1683.14	1388.50	0.35	-4.00	3.14	-1.50	1.75	2.75	0.000056	0.217			
5234	51.34	60	2174.39	1838.75	1683.29	1388.00	0.39	-4.25	3.29	-2.00	1.84	3.13	0.000062	0.236			
5670	55.62	65	2174.42	1838.50	1683.43	1387.75	0.42	-4.50	3.43	-2.25	1.93	3.38	0.000066	0.256			
6106	59.90	70	2174.45	1838.25	1683.57	1387.50	0.45	-4.75	3.57	-2.50	2.01	3.63	0.000070	0.276			
6542	64.18	75	2174.48	1838.00	1683.71	1387.25	0.48	-5.00	3.71	-2.75	2.10	3.88	0.000075	0.296			
6978	68.45	80	2174.52	1837.50	1683.86	1387.00	0.52	-5.50	3.86	-3.00	2.19	4.25	0.000080	0.315			
7414	72.73	85	2174.55	1837.00	1684.00	1386.66	0.55	-6.00	4.00	-3.34	2.28	4.67	0.000087	0.335			
7850	77.01	90	2174.58	1836.50	1684.50	1386.33	0.58	-6.50	4.50	-3.67	2.54	5.09	0.000095	0.355			
8286	81.29	95	2174.61	1836.00	1685.00	1386.00	0.61	-7.00	5.00	-4.00	2.81	5.50	0.000104	0.374			
8723	85.57	100	2174.65	1835.00	1685.50	1385.00	0.65	-8.00	5.50	-5.00	3.08	6.50	0.000120	0.394			
9159	89.85	105	2174.68	1834.00	1686.00	1384.00	0.68	-9.00	6.00	-6.00	3.34	7.50	0.000135	0.414			
9595	94.12	110	2174.71	1833.00	1686.25	1383.00	0.71	-10.00	6.25	-7.00	3.48	8.50	0.000150	0.434			
10031	98.40	115	2174.74	1831.00	1686.50	1382.00	0.74	-12.00	6.50	-8.00	3.62	10.00	0.000170	0.453			
10467	102.68	120	2174.77	1830.50	1686.75	1381.00	0.77	-12.50	6.75	-9.00	3.76	10.75	0.000181	0.473			
10903	106.96	125	2174.81	1830.00	1687.00	1380.50	0.81	-13.00	7.00	-9.50	3.90	11.25	0.000189	0.493			
11339	111.24	130	2174.84	1828.00	1687.50	1380.00	0.84	-15.00	7.50	-10.00	4.17	12.50	0.000208	0.512			
11775	115.52	135	2174.87	1826.00	1688.00	1378.00	0.87	-17.00	8.00	-12.00	4.43	14.50	0.000237	0.532			
12212	119.79	140	2174.90	1823.00	1689.00	1375.00	0.90	-20.00	9.00	-15.00	4.95	17.50	0.000281	0.552			
12648	124.07	145	2174.94	1814.00	1689.50	1366.00	0.94	-29.00	9.50	-24.00	5.22	26.50	0.000397	0.571			
13084	128.35	150	2174.97	1790.00	1690.00	1344.00	0.97	-53.00	10.00	-46.00	5.48	49.50	0.000687	0.591			
13433	131.77	154	2175.00		1690.50		1.00		10.50		5.75			0.607			

P <sub>40%</sub> (kg)	5373
Ss <sub>2</sub> (MPa)	0.243
Ss <sub>1</sub> (MPa)	0.197
$\gamma_2$ (mm/mm)	0.000063
$\gamma_1$ (mm/mm)	0.000050
G (MPa)	3396

Especimen	MD-2#4/40
Fecha	19/12/2018
Hora	01:45:00 p. m.
Longitud	800 mm
Celda	87.225
Area meta diagonal	217116 mm <sup>2</sup>

Tabla 6.6 Ensayo de Compresión Diagonal Muro MD-2#5/40

Especimen	MD-2#5/40		P <sub>40%</sub> (kg)		5896									
	Fecha	20/12/2018	Ss <sub>2</sub> (MPa)	0.266	Ss <sub>1</sub> (MPa)	0.200								
Hora	10:45:00 a. m.	γ <sub>2</sub> (mm/mm)	0.000080	γ <sub>1</sub> (mm/mm)	0.000050									
Longitud	800 mm	G (MPa)	2217											
Celda	87.225													
Area neta diagonal	217116 mm <sup>2</sup>													
Carga (kg)	Carga (kN)	Celda	Cara Frontal		Cara Posterior		Cara Frontal		Cara Posterior		Δrom II Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δrom I Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)	γ (mm/mm)	Ss (MPa)
			δ1 II Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	δ2 I Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)	δ3 II Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	δ4 I Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ1 II Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ2 I Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ3 II Compresión (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ4 I Tracción (x10 <sup>-2</sup> mm)				
174	1.71	2	2210.00	3277.10	3103.00	3690.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.008
436	4.28	5	2210.08	3277.00	3103.33	3689.91	0.08	-0.10	0.33	-0.09	0.20	0.10	0.000004	0.020
872	8.56	10	2210.15	3276.90	3103.66	3689.82	0.15	-0.20	0.66	-0.18	0.40	0.19	0.000007	0.039
1308	12.84	15	2210.23	3276.80	3104.00	3689.73	0.23	-0.30	1.00	-0.27	0.62	0.28	0.000011	0.059
1745	17.11	20	2210.31	3276.70	3104.50	3689.64	0.31	-0.40	1.50	-0.36	0.90	0.38	0.000016	0.079
2181	21.39	25	2210.38	3276.60	3105.00	3689.55	0.38	-0.50	2.00	-0.45	1.19	0.47	0.000021	0.099
2617	25.67	30	2210.46	3276.50	3105.33	3689.45	0.46	-0.60	2.33	-0.55	1.39	0.58	0.000025	0.118
3053	29.95	35	2210.54	3276.56	3105.66	3689.36	0.54	-0.54	2.66	-0.64	1.60	0.59	0.000027	0.138
3489	34.23	40	2210.61	3276.53	3106.00	3689.27	0.61	-0.57	3.00	-0.73	1.81	0.65	0.000031	0.158
3925	38.51	45	2210.69	3276.40	3106.50	3689.18	0.69	-0.70	3.50	-0.82	2.10	0.76	0.000036	0.177
4361	42.78	50	2210.77	3275.00	3107.00	3689.09	0.77	-2.10	4.00	-0.91	2.38	1.50	0.000049	0.197
4797	47.06	55	2210.85	3274.00	3107.33	3689.00	0.85	-3.10	4.33	-1.00	2.59	2.05	0.000058	0.217
5234	51.34	60	2210.92	3273.50	3107.66	3688.50	0.92	-3.60	4.66	-1.50	2.79	2.55	0.000067	0.236
5670	55.62	65	2211.00	3273.00	3108.00	3688.00	1.00	-4.10	5.00	-2.00	3.00	3.05	0.000076	0.256
6106	59.90	70	2211.30	3272.80	3108.50	3687.66	1.30	-4.30	5.50	-2.34	3.40	3.32	0.000084	0.276
6542	64.18	75	2211.50	3272.60	3109.00	3687.33	1.50	-4.50	6.00	-2.67	3.75	3.59	0.000092	0.296
6978	68.45	80	2212.00	3272.40	3109.50	3687.00	2.00	-4.70	6.50	-3.00	4.25	3.85	0.000101	0.315
7414	72.73	85	2212.25	3272.20	3110.00	3686.50	2.25	-4.90	7.00	-3.50	4.63	4.20	0.000110	0.335
7850	77.01	90	2212.50	3272.00	3110.50	3686.00	2.50	-5.10	7.50	-4.00	5.00	4.55	0.000119	0.355
8286	81.29	95	2212.75	3270.75	3111.00	3685.75	2.75	-6.35	8.00	-4.25	5.38	5.30	0.000133	0.374
8723	85.57	100	2213.00	3270.50	3111.50	3685.50	3.00	-6.60	8.50	-4.50	5.75	5.55	0.000141	0.394
9159	89.85	105	2213.17	3270.25	3112.00	3685.25	3.17	-6.85	9.00	-4.75	6.09	5.80	0.000149	0.414
9595	94.12	110	2213.33	3270.00	3112.50	3685.00	3.33	-7.10	9.50	-5.00	6.41	6.05	0.000156	0.434
10031	98.40	115	2213.50	3269.00	3113.00	3684.66	3.50	-8.10	10.00	-5.34	6.75	6.72	0.000168	0.453
10467	102.68	120	2214.00	3268.00	3113.33	3684.33	4.00	-9.10	10.33	-5.67	7.16	7.38	0.000182	0.473
10903	106.96	125	2214.50	3267.00	3113.66	3684.00	4.50	-10.10	10.66	-6.00	7.58	8.05	0.000195	0.493
11339	111.24	130	2215.00	3266.00	3114.00	3683.00	5.00	-11.10	11.00	-7.00	8.00	9.05	0.000213	0.512
11775	115.52	135	2216.00	3265.00	3114.50	3682.00	6.00	-12.10	11.50	-8.00	8.75	10.05	0.000235	0.532
12212	119.79	140	2218.00	3264.50	3115.00	3681.66	8.00	-12.60	12.00	-8.34	10.00	10.47	0.000256	0.552
12648	124.07	145	2218.33	3264.00	3115.33	3681.33	8.33	-13.10	12.33	-8.67	10.33	10.89	0.000265	0.571
13084	128.35	150	2218.66	3263.00	3115.66	3681.00	8.66	-14.10	12.66	-9.00	10.66	11.55	0.000278	0.591
13520	132.63	155	2219.00	3262.00	3116.00	3680.00	9.00	-15.10	13.00	-10.00	11.00	12.55	0.000294	0.611
13956	136.91	160	2219.50	3261.00	3116.50	3679.00	9.50	-16.10	13.50	-11.00	11.50	13.55	0.000313	0.631
14392	141.19	165	2220.00	3260.00	3117.00	3678.00	10.00	-17.10	14.00	-12.00	12.00	14.55	0.000332	0.650
14741	144.61	169	2220.50	3259.00	3117.50	3677.00	10.50	-18.10	14.50	-13.00	12.50	15.55	0.000351	0.666

## **G. ANEXO**

### **RESULTADOS ENSAYOS DE CORTANTE DIRECTO**

Tabla 6.1 Ensayo de Cortante Directo Muro MC-C

Especimen	MC-C														
Fecha	22/03/2019														
Hora	10:50:00 a. m.														
Longitud	800 mm														
Celda	84.353														
Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 4$ Mecánico H/2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 4$ Mecánico H/2 (mm)	$\Delta$ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
122	61	0.60	2	23	0.0274	0.0000	0.0036	0.0000	0.0166	0.0000	642	0.00	0.0000	0.0000	0.60
304	152	1.49	5	29	0.0439	0.0165	0.0036	0.0000	0.0166	0.0000	642	0.00	0.0165	0.0165	1.49
608	304	2.98	10	44	0.0603	0.0329	0.0109	0.0073	0.0042	-0.0124	642	0.00	0.0205	0.0205	2.98
912	456	4.47	15	54	0.0768	0.0494	0.0109	0.0073	0.0125	-0.0041	644	0.02	0.0453	0.0453	4.47
1215	608	5.96	20	65	0.1042	0.0768	0.0109	0.0073	0.0457	0.0291	645	0.03	0.1059	0.1059	5.96
912	456	4.47	15	103	0.1152	0.0878	0.0182	0.0146	0.0582	0.0416	645	0.03	0.1294	0.1171	5.96
608	304	2.98	10	107	0.0987	0.0713	0.0145	0.0109	0.0624	0.0458	645	0.03	0.1171	0.1502	7.45
912	456	4.47	15	116	0.0932	0.0658	0.0109	0.0073	0.0624	0.0458	645	0.03	0.1116	0.1929	8.94
1215	608	5.96	20	122	0.0987	0.0713	0.0182	0.0146	0.0624	0.0458	646	0.04	0.1171	0.2468	10.43
1519	760	7.45	25	128	0.1152	0.0878	0.0145	0.0109	0.0790	0.0624	647	0.05	0.1502	0.3214	11.92
1823	912	8.94	30	136	0.1371	0.1097	0.0218	0.0182	0.0998	0.0852	648	0.06	0.1929	0.3545	11.92
2127	1064	10.43	35	147	0.1536	0.1262	0.0254	0.0218	0.1372	0.1206	650	0.08	0.2468	0.3904	13.41
2431	1215	11.92	40	159	0.1700	0.1426	0.0327	0.0291	0.1954	0.1788	652	0.10	0.3214	0.4346	14.90
2127	1064	10.43	35	173	0.1755	0.1481	0.0363	0.0327	0.2037	0.1871	652	0.10	0.3352	0.5049	16.39
1823	912	8.94	30	175	0.1755	0.1481	0.0363	0.0327	0.2037	0.1871	652	0.10	0.3352	0.5560	17.89
1519	760	7.45	25	184	0.1645	0.1371	0.0363	0.0327	0.2078	0.1912	652	0.10	0.3283	0.5560	19.38
1215	608	5.96	20	188	0.1481	0.1207	0.0363	0.0327	0.2078	0.1912	652	0.10	0.3119	0.5890	20.87
912	456	4.47	15	192	0.1316	0.1042	0.0327	0.0291	0.1829	0.1663	652	0.10	0.2705	0.6760	20.87
608	304	2.98	10	199	0.1152	0.0878	0.0327	0.0291	0.1455	0.1289	652	0.10	0.2167	0.7393	22.36
912	456	4.47	15	205	0.1152	0.0878	0.0327	0.0291	0.1538	0.1372	652	0.10	0.2250	0.7518	23.85
1215	608	5.96	20	209	0.1262	0.0988	0.0363	0.0327	0.1621	0.1455	652	0.10	0.2443	0.8126	23.85
1519	760	7.45	25	214	0.1426	0.1152	0.0327	0.0291	0.1829	0.1663	652	0.10	0.2815	0.8539	25.34
1823	912	8.94	30	219	0.1645	0.1371	0.0399	0.0363	0.1954	0.1788	652	0.10	0.3159	0.9090	26.83
2127	1064	10.43	35	227	0.1700	0.1426	0.0327	0.0291	0.1995	0.1829	652	0.10	0.3255	0.9573	26.83
2431	1215	11.92	40	233	0.1865	0.1591	0.0399	0.0363	0.2120	0.1954	653	0.11	0.3545	1.0193	28.32
2735	1367	13.41	45	238	0.1975	0.1701	0.0363	0.0327	0.2369	0.2203	655	0.13	0.3904	1.0470	29.81
3039	1519	14.90	50	244	0.2084	0.1810	0.0472	0.0436	0.2702	0.2556	656	0.14	0.4346	1.1144	29.81
3342	1671	16.39	55	250	0.2413	0.2139	0.0508	0.0472	0.3076	0.2910	657	0.15	0.5049	1.1516	31.30
3646	1823	17.89	60	257	0.2633	0.2359	0.0581	0.0545	0.3367	0.3201	660	0.18	0.5560	1.1931	32.79
3950	1975	19.38	65	259	0.2633	0.2359	0.0617	0.0581	0.3367	0.3201	662	0.20	0.5560	1.2978	34.28
4254	2127	20.87	70	261	0.2797	0.2523	0.0653	0.0617	0.3533	0.3367	665	0.23	0.5890	1.4214	35.77

CICLO 1

CICLO 2

CICLO 3



Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 4$ Mecánico H/2 (x10 <sup>-2</sup> mm)	$\Delta 4$ Mecánico H/2 (mm)	$\Delta$ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
3950	1975	19.38	65	293	0.3126	0.2852	0.0726	0.0690	0.0690	0.3949	0.3783	665	0.23	0.6635	1.4969	37.26
3646	1823	17.89	60	295	0.3126	0.2852	0.0726	0.0690	0.0690	0.3949	0.3783	665	0.23	0.6635	1.5491	38.75
3342	1671	16.39	55	298	0.2852	0.2578	0.0726	0.0690	0.0690	0.4032	0.3866	665	0.23	0.6444	1.6467	38.75
3039	1519	14.90	50	300	0.2907	0.2633	0.0726	0.0690	0.0690	0.4032	0.3866	665	0.23	0.6499	1.7402	41.73
2735	1367	13.41	45	304	0.2688	0.2414	0.0762	0.0726	0.0726	0.4032	0.3866	665	0.23	0.6280	1.9164	44.71
2431	1215	11.92	40	306	0.2633	0.2359	0.0690	0.0654	0.0654	0.3700	0.3534	665	0.23	0.5893	2.0734	47.69
2127	1064	10.43	35	308	0.2468	0.2194	0.0690	0.0654	0.0654	0.3533	0.3367	664	0.22	0.5561	2.2165	50.67
1823	912	8.94	30	314	0.2304	0.2030	0.0799	0.0763	0.0763	0.3367	0.3201	662	0.20	0.5231	2.2989	50.67
1519	760	7.45	25	320	0.1975	0.1701	0.0472	0.0436	0.0436	0.2868	0.2702	659	0.17	0.4403	2.4629	53.66
1215	608	5.96	20	322	0.1975	0.1701	0.0472	0.0436	0.0436	0.2827	0.2661	658	0.16	0.4362	2.7177	56.64
912	456	4.47	15	329	0.1865	0.1591	0.0436	0.0400	0.0400	0.2536	0.2370	657	0.15	0.3961	2.8858	59.62
608	304	2.98	10	335	0.1645	0.1371	0.0436	0.0400	0.0400	0.2037	0.1871	655	0.13	0.3242	3.0482	59.62
912	456	4.47	15	343	0.1591	0.1317	0.0399	0.0363	0.0363	0.2037	0.1871	655	0.13	0.3188	3.2176	62.60
1215	608	5.96	20	350	0.1810	0.1536	0.0399	0.0363	0.0363	0.2245	0.2079	655	0.13	0.3615	3.5249	65.58
1519	760	7.45	25	355	0.1865	0.1591	0.0399	0.0363	0.0363	0.2494	0.2328	655	0.13	0.3919	3.9065	68.26
1823	912	8.94	30	358	0.1975	0.1701	0.0436	0.0400	0.0400	0.2536	0.2370	655	0.13	0.4071		
2127	1064	10.43	35	366	0.2084	0.1810	0.0472	0.0436	0.0436	0.2577	0.2411	656	0.14	0.4221		
2431	1215	11.92	40	372	0.2249	0.1975	0.0508	0.0472	0.0472	0.2702	0.2536	657	0.15	0.4511		
2735	1367	13.41	45	377	0.2523	0.2249	0.0545	0.0509	0.0509	0.2785	0.2619	658	0.16	0.4868		
3039	1519	14.90	50	382	0.2523	0.2249	0.0581	0.0545	0.0545	0.2951	0.2785	659	0.17	0.5034		
3342	1671	16.39	55	386	0.2688	0.2414	0.0581	0.0545	0.0545	0.3035	0.2869	661	0.19	0.5283		
3646	1823	17.89	60	392	0.2907	0.2633	0.0726	0.0690	0.0690	0.3700	0.3534	663	0.21	0.6167		
3950	1975	19.38	65	396	0.3072	0.2798	0.0690	0.0654	0.0654	0.3824	0.3658	664	0.22	0.6456		
4254	2127	20.87	70	402	0.3126	0.2852	0.0762	0.0726	0.0726	0.4074	0.3908	666	0.24	0.6760		
4558	2279	22.36	75	409	0.3510	0.3236	0.0835	0.0799	0.0799	0.4323	0.4157	667	0.25	0.7393		
4862	2431	23.85	80	412	0.3510	0.3236	0.0835	0.0799	0.0799	0.4448	0.4282	669	0.27	0.7518		
4558	2279	22.36	75	424	0.3620	0.3346	0.0944	0.0908	0.0908	0.4697	0.4531	669	0.27	0.7877		
4254	2127	20.87	70	425	0.3565	0.3291	0.0871	0.0835	0.0835	0.4697	0.4531	669	0.27	0.7822		
3950	1975	19.38	65	431	0.3620	0.3346	0.0835	0.0799	0.0799	0.4864	0.4698	669	0.27	0.8044		
3646	1823	17.89	60	434	0.3346	0.3072	0.0908	0.0872	0.0872	0.4781	0.4615	669	0.27	0.7687		
3342	1671	16.39	55	435	0.3236	0.2962	0.0835	0.0799	0.0799	0.4739	0.4573	669	0.27	0.7535		
3039	1519	14.90	50	443	0.3181	0.2907	0.0908	0.0872	0.0872	0.4406	0.4240	669	0.27	0.7147		
2735	1367	13.41	45	446	0.2962	0.2688	0.0835	0.0799	0.0799	0.4282	0.4116	668	0.26	0.6804		
2431	1215	11.92	40	449	0.2797	0.2523	0.0835	0.0799	0.0799	0.4032	0.3866	667	0.25	0.6389		
2127	1064	10.43	35	452	0.2688	0.2414	0.0762	0.0726	0.0726	0.3949	0.3783	665	0.23	0.6197		
1823	912	8.94	30	454	0.2633	0.2359	0.0690	0.0654	0.0654	0.3617	0.3451	664	0.22	0.5810		
1519	760	7.45	25	459	0.2468	0.2194	0.0690	0.0654	0.0654	0.3201	0.3035	662	0.20	0.5229		
1215	608	5.96	20	464	0.2304	0.2030	0.0581	0.0545	0.0545	0.2910	0.2744	660	0.18	0.4774		
912	456	4.47	15	470	0.2084	0.1810	0.0581	0.0545	0.0545	0.2536	0.2370	659	0.17	0.4180		

CICLO 3

CICLO 4

Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	δ1 H/2 (mm)	Δ1 H/2 (mm)	δ2 Abajo (mm)	Δ2 Abajo (mm)	δ3 Marco (mm)	Δ3 Marco (mm)	δ4 Mecánico H/2 (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ4 Mecánico H/2 (mm)	Δ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
CICLO 5															
608	304	2.98	10	479	0.1920	0.1646	0.0472	0.0436	0.2203	0.2037	657	0.15	0.3683		
912	456	4.47	15	488	0.1920	0.1646	0.0508	0.0472	0.2286	0.2120	657	0.15	0.3766		
1215	608	5.96	20	491	0.1975	0.1701	0.0472	0.0436	0.2286	0.2120	657	0.15	0.3821		
1519	760	7.45	25	496	0.1975	0.1701	0.0472	0.0436	0.2619	0.2453	657	0.15	0.4154		
1823	912	8.94	30	506	0.2139	0.1865	0.0508	0.0472	0.2785	0.2619	658	0.16	0.4484		
2127	1064	10.43	35	514	0.2304	0.2030	0.0508	0.0472	0.2910	0.2744	658	0.16	0.4774		
2431	1215	11.92	40	519	0.2468	0.2194	0.0545	0.0509	0.2951	0.2785	659	0.17	0.4979		
2735	1367	13.41	45	524	0.2742	0.2468	0.0581	0.0545	0.3118	0.2952	660	0.18	0.5420		
3039	1519	14.90	50	528	0.2742	0.2468	0.0653	0.0617	0.3159	0.2993	661	0.19	0.5461		
3342	1671	16.39	55	533	0.3072	0.2798	0.0617	0.0581	0.3617	0.3451	663	0.21	0.6249		
3646	1823	17.89	60	540	0.3181	0.2907	0.0762	0.0726	0.3949	0.3783	665	0.23	0.6690		
3950	1975	19.38	65	544	0.3236	0.2962	0.0799	0.0762	0.3991	0.3825	666	0.24	0.6787		
4254	2127	20.87	70	550	0.3455	0.3181	0.0762	0.0726	0.4323	0.4157	667	0.25	0.7338		
4558	2279	22.36	75	554	0.3510	0.3236	0.0871	0.0835	0.4614	0.4448	669	0.27	0.7684		
4862	2431	23.85	80	559	0.3785	0.3511	0.0944	0.0908	0.4781	0.4615	671	0.29	0.8126		
5166	2583	25.34	85	563	0.3949	0.3675	0.0908	0.0872	0.5030	0.4864	672	0.30	0.8539		
5469	2735	26.83	90	569	0.4168	0.3894	0.1017	0.0981	0.5362	0.5196	675	0.33	0.9090		
5166	2583	25.34	85	581	0.4388	0.4114	0.0980	0.0944	0.5487	0.5321	675	0.33	0.9435		
4862	2431	23.85	80	583	0.4278	0.4004	0.1053	0.1017	0.5487	0.5321	675	0.33	0.9325		
4558	2279	22.36	75	593	0.4114	0.3840	0.0980	0.0944	0.5529	0.5363	675	0.33	0.9203		
4254	2127	20.87	70	597	0.4059	0.3785	0.1017	0.0981	0.5487	0.5321	675	0.33	0.9106		
3950	1975	19.38	65	599	0.3785	0.3511	0.1053	0.1017	0.5362	0.5196	675	0.33	0.8707		
3646	1823	17.89	60	604	0.3785	0.3511	0.1053	0.1017	0.5196	0.5030	674	0.32	0.8541		
3342	1671	16.39	55	610	0.3620	0.3346	0.1053	0.1017	0.5030	0.4864	673	0.31	0.8210		
3039	1519	14.90	50	613	0.3401	0.3127	0.0944	0.0908	0.4947	0.4781	672	0.30	0.7908		
2735	1367	13.41	45	616	0.3291	0.3017	0.0944	0.0908	0.4656	0.4490	670	0.28	0.7507		
2431	1215	11.92	40	620	0.3126	0.2852	0.0835	0.0799	0.4365	0.4199	669	0.27	0.7051		
2127	1064	10.43	35	624	0.2962	0.2688	0.0871	0.0835	0.4074	0.3908	668	0.26	0.6596		
1823	912	8.94	30	629	0.2852	0.2578	0.0762	0.0726	0.3700	0.3534	666	0.24	0.6112		
1519	760	7.45	25	637	0.2633	0.2359	0.0690	0.0654	0.3450	0.3284	665	0.23	0.5643		
1215	608	5.96	20	647	0.2413	0.2139	0.0617	0.0581	0.3035	0.2869	662	0.20	0.5008		
912	456	4.47	15	662	0.2304	0.2030	0.0545	0.0509	0.2702	0.2536	660	0.18	0.4566		
608	304	2.98	10	672	0.2304	0.2030	0.0545	0.0509	0.2702	0.2536	658	0.16	0.4566		
912	456	4.47	15	687	0.2139	0.1865	0.0472	0.0436	0.2286	0.2120	658	0.16	0.3985		
1215	608	5.96	20	692	0.2249	0.1975	0.0472	0.0436	0.2619	0.2453	658	0.16	0.4428		
1519	760	7.45	25	697	0.2304	0.2030	0.0545	0.0509	0.2785	0.2619	659	0.17	0.4649		
1823	912	8.94	30	706	0.2358	0.2084	0.0472	0.0436	0.2827	0.2661	659	0.17	0.4745		
2127	1064	10.43	35	715	0.2688	0.2414	0.0581	0.0545	0.3118	0.2952	660	0.18	0.5366		
2431	1215	11.92	40	720	0.2688	0.2414	0.0653	0.0617	0.3118	0.2952	661	0.19	0.5366		
CICLO 6															

Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 4$ Mecánico H/2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 4$ Mecánico H/2 (mm)	$\Delta$ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
2735	1367	13.41	45	726	0.2907	0.2633	0.0617	0.0581	0.3159	0.2993	662	0.20	0.5626		
3039	1519	14.90	50	732	0.3126	0.2852	0.0726	0.0690	0.3533	0.3367	664	0.22	0.6219		
3342	1671	16.39	55	738	0.3291	0.3017	0.0726	0.0690	0.3783	0.3617	665	0.23	0.6634		
3646	1823	17.89	60	744	0.3401	0.3127	0.0762	0.0726	0.4115	0.3949	666	0.24	0.7076		
3950	1975	19.38	65	747	0.3565	0.3291	0.0762	0.0762	0.4115	0.3949	668	0.26	0.7240		
4254	2127	20.87	70	752	0.3730	0.3456	0.0835	0.0799	0.4531	0.4365	670	0.28	0.7821		
4558	2279	22.36	75	756	0.3949	0.3675	0.0944	0.0908	0.4781	0.4615	672	0.30	0.8290		
4862	2431	23.85	80	760	0.4059	0.3785	0.0944	0.0908	0.4947	0.4781	673	0.31	0.8566		
5166	2583	25.34	85	765	0.4168	0.3894	0.0980	0.0944	0.5196	0.5030	674	0.32	0.8924		
5469	2735	26.83	90	770	0.4443	0.4169	0.1089	0.1053	0.5570	0.5404	676	0.34	0.9573		
5773	2887	28.32	95	776	0.4772	0.4498	0.1162	0.1126	0.5861	0.5695	679	0.37	1.0193		
6077	3039	29.81	100	779	0.4882	0.4608	0.1125	0.1089	0.6028	0.5862	681	0.39	1.0470		
5773	2887	28.32	95	791	0.4882	0.4608	0.1125	0.1089	0.6235	0.6069	681	0.39	1.0677		
5469	2735	26.83	90	793	0.4936	0.4662	0.1198	0.1162	0.6194	0.6028	681	0.39	1.0690		
5166	2583	25.34	85	797	0.4772	0.4498	0.1234	0.1198	0.6194	0.6028	681	0.39	1.0526		
4862	2431	23.85	80	801	0.4552	0.4278	0.1271	0.1235	0.6235	0.6069	681	0.39	1.0347		
4558	2279	22.36	75	805	0.4498	0.4224	0.1125	0.1089	0.5986	0.5820	681	0.39	1.0044		
4254	2127	20.87	70	808	0.4388	0.4114	0.1198	0.1162	0.5903	0.5737	680	0.38	0.9851		
3950	1975	19.38	65	813	0.4168	0.3894	0.1162	0.1126	0.5861	0.5695	679	0.37	0.9589		
3646	1823	17.89	60	816	0.4168	0.3894	0.1125	0.1089	0.5737	0.5571	678	0.36	0.9465		
3342	1671	16.39	55	824	0.3894	0.3620	0.1053	0.1017	0.5487	0.5321	677	0.35	0.8941		
3039	1519	14.90	50	831	0.3730	0.3456	0.1017	0.0981	0.5030	0.4864	675	0.33	0.8320		
2735	1367	13.41	45	836	0.3510	0.3236	0.1017	0.0981	0.4739	0.4573	673	0.31	0.7809		
2431	1215	11.92	40	840	0.3401	0.3127	0.0908	0.0872	0.4531	0.4365	671	0.29	0.7492		
2127	1064	10.43	35	844	0.3236	0.2962	0.0908	0.0872	0.4365	0.4199	670	0.28	0.7161		
1823	912	8.94	30	852	0.3072	0.2798	0.0799	0.0763	0.3908	0.3742	668	0.26	0.6540		
1519	760	7.45	25	860	0.2852	0.2578	0.0799	0.0763	0.3617	0.3451	666	0.24	0.6029		
1215	608	5.96	20	868	0.2797	0.2523	0.0726	0.0690	0.3284	0.3118	664	0.22	0.5641		
912	456	4.47	15	877	0.2468	0.2194	0.0653	0.0617	0.2827	0.2661	661	0.19	0.4855		
608	304	2.98	10	882	0.2358	0.2084	0.0617	0.0581	0.2536	0.2370	660	0.18	0.4454		
912	456	4.47	15	887	0.2413	0.2139	0.0545	0.0509	0.2411	0.2245	660	0.18	0.4384		
1215	608	5.96	20	892	0.2413	0.2139	0.0581	0.0545	0.2702	0.2536	660	0.18	0.4675		
1519	760	7.45	25	897	0.2633	0.2359	0.0581	0.0545	0.3035	0.2869	660	0.18	0.5228		
1823	912	8.94	30	906	0.2688	0.2414	0.0545	0.0509	0.3118	0.2952	661	0.19	0.5366		
2127	1064	10.43	35	910	0.2852	0.2578	0.0617	0.0581	0.3118	0.2952	662	0.20	0.5530		
2431	1215	11.92	40	915	0.2962	0.2688	0.0653	0.0617	0.3284	0.3118	663	0.21	0.5806		
2735	1367	13.41	45	919	0.3126	0.2852	0.0653	0.0617	0.3409	0.3243	664	0.22	0.6095		
3039	1519	14.90	50	923	0.3291	0.3017	0.0653	0.0617	0.3409	0.3243	665	0.23	0.6260		

CICLO 6

CICLO 7

Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	δ1 H/2 (mm)	Δ1 H/2 (mm)	δ2 Abajo (mm)	Δ2 Abajo (mm)	δ3 Marco (mm)	Δ3 Marco (mm)	δ4 Mecánico H/2 (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ4 Mecánico H/2 (mm)	Δ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
3342	1671	16.39	55	928	0.3510	0.3236	0.0762	0.0726	0.3949	0.3783	667	0.25	0.7019		
3646	1823	17.89	60	932	0.3730	0.3456	0.0835	0.0799	0.4282	0.4116	669	0.27	0.7572		
3950	1975	19.38	65	936	0.3894	0.3620	0.0871	0.0835	0.4365	0.4199	670	0.28	0.7819		
4254	2127	20.87	70	940	0.4059	0.3785	0.0908	0.0872	0.4697	0.4531	672	0.30	0.8316		
4558	2279	22.36	75	945	0.4223	0.3949	0.0908	0.0872	0.4905	0.4739	674	0.32	0.8688		
4862	2431	23.85	80	951	0.4388	0.4114	0.1017	0.0981	0.5362	0.5196	675	0.33	0.9310		
5166	2583	25.34	85	955	0.4607	0.4333	0.1053	0.1017	0.5612	0.5446	677	0.35	0.9779		
5469	2735	26.83	90	959	0.4772	0.4498	0.1017	0.0981	0.5778	0.5612	678	0.36	1.0110		
5773	2887	28.32	95	963	0.4882	0.4608	0.1089	0.1053	0.5944	0.5778	681	0.39	1.0386		
6077	3039	29.81	100	969	0.5265	0.4991	0.1198	0.1162	0.6319	0.6153	683	0.41	1.1144		
6381	3191	31.30	105	973	0.5430	0.5156	0.1198	0.1162	0.6526	0.6360	685	0.43	1.1516		
6685	3342	32.79	110	977	0.5595	0.5321	0.1307	0.1271	0.6776	0.6610	687	0.45	1.1931		
6989	3494	34.28	115	985	0.6143	0.5869	0.1380	0.1344	0.7275	0.7109	691	0.49	1.2978		
7293	3646	35.77	120	991	0.7130	0.6856	0.1743	0.1707	0.7524	0.7358	701	0.59	1.4214		
7597	3798	37.26	125	997	0.7843	0.7569	0.2033	0.1997	0.7566	0.7400	708	0.66	1.4969		
7900	3950	38.75	130	1002	0.8282	0.8008	0.2251	0.2215	0.7649	0.7483	714	0.72	1.5491		
7597	3798	37.26	125	1006	0.8447	0.8173	0.2287	0.2251	0.7732	0.7566	714	0.72	1.5739		
7293	3646	35.77	120	1010	0.8392	0.8118	0.2324	0.2288	0.7732	0.7566	714	0.72	1.5684		
6989	3494	34.28	115	1019	0.8392	0.8118	0.2287	0.2251	0.7774	0.7608	713	0.71	1.5726		
6685	3342	32.79	110	1022	0.8227	0.7953	0.2324	0.2288	0.7690	0.7524	713	0.71	1.5477		
6381	3191	31.30	105	1024	0.8063	0.7789	0.2251	0.2215	0.7441	0.7275	713	0.71	1.5064		
6077	3039	29.81	100	1026	0.7953	0.7679	0.2287	0.2251	0.7399	0.7233	712	0.70	1.4912		
5773	2887	28.32	95	1031	0.7679	0.7405	0.1997	0.1961	0.7316	0.7150	711	0.69	1.4555		
5469	2735	26.83	90	1034	0.7569	0.7295	0.1997	0.1961	0.7192	0.7026	710	0.68	1.4321		
5166	2583	25.34	85	1037	0.7350	0.7076	0.1997	0.1961	0.6859	0.6693	709	0.67	1.3769		
4862	2431	23.85	80	1043	0.7075	0.6801	0.1960	0.1924	0.6568	0.6402	707	0.65	1.3203		
4558	2279	22.36	75	1046	0.7021	0.6747	0.1924	0.1888	0.6277	0.6111	705	0.63	1.2858		
4254	2127	20.87	70	1052	0.6911	0.6637	0.1815	0.1779	0.6111	0.5945	703	0.61	1.2582		
3950	1975	19.38	65	1057	0.6582	0.6308	0.1779	0.1743	0.5903	0.5737	702	0.60	1.2045		
3646	1823	17.89	60	1065	0.6308	0.6034	0.1634	0.1598	0.5570	0.5404	699	0.57	1.1438		
3342	1671	16.39	55	1069	0.6253	0.5979	0.1670	0.1634	0.5321	0.5155	695	0.53	1.1134		
3039	1519	14.90	50	1072	0.5924	0.5650	0.1597	0.1561	0.5030	0.4864	695	0.53	1.0514		
2735	1367	13.41	45	1076	0.5814	0.5540	0.1561	0.1525	0.4905	0.4739	694	0.52	1.0279		
2431	1215	11.92	40	1082	0.5485	0.5211	0.1452	0.1416	0.4614	0.4448	691	0.49	0.9659		
2127	1064	10.43	35	1085	0.5430	0.5156	0.1343	0.1307	0.4323	0.4157	689	0.47	0.9313		
1823	912	8.94	30	1086	0.5375	0.5101	0.1452	0.1416	0.4323	0.4157	687	0.45	0.9258		
1519	760	7.45	25	1090	0.5265	0.4991	0.1343	0.1307	0.4032	0.3866	685	0.43	0.8857		
1215	608	5.96	20	1101	0.4936	0.4662	0.1234	0.1198	0.3617	0.3451	683	0.41	0.8113		
912	456	4.47	15	1118	0.4552	0.4278	0.1125	0.1089	0.2993	0.2827	680	0.38	0.7105		

CICLO 7

Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 4$ Mecánico H/2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 4$ Mecánico H/2 (mm)	$\Delta$ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
608	304	2.98	10	1125	0.4223	0.3949	0.1017	0.0981	0.2536	0.2370	676	0.34	0.6319		
912	456	4.47	15	1131	0.4059	0.3785	0.0980	0.0944	0.2494	0.2328	676	0.34	0.6113		
1215	608	5.96	20	1142	0.4114	0.3840	0.0944	0.0908	0.2910	0.2744	676	0.34	0.6584		
1823	912	8.94	30	1148	0.4333	0.4059	0.1017	0.0981	0.3159	0.2993	676	0.34	0.7052		
2431	1215	11.92	40	1158	0.4827	0.4553	0.1162	0.1126	0.3367	0.3201	680	0.38	0.7754		
3039	1519	14.90	50	1161	0.5046	0.4772	0.1234	0.1198	0.3949	0.3783	683	0.41	0.8555		
3646	1823	17.89	60	1165	0.5430	0.5156	0.1380	0.1344	0.4365	0.4199	686	0.44	0.9355		
4254	2127	20.87	70	1168	0.5704	0.5430	0.1452	0.1416	0.4697	0.4531	689	0.47	0.9961		
4862	2431	23.85	80	1175	0.6143	0.5869	0.1597	0.1561	0.5362	0.5196	693	0.51	1.1065		
5469	2735	26.83	90	1182	0.6746	0.6472	0.1815	0.1779	0.6028	0.5862	698	0.56	1.2334		
6077	3039	29.81	100	1185	0.7075	0.6801	0.1924	0.1888	0.6402	0.6236	702	0.60	1.3037		
6685	3342	32.79	110	1191	0.7843	0.7569	0.2106	0.2070	0.7025	0.6859	707	0.65	1.4428		
7293	3646	35.77	120	1197	0.8337	0.8063	0.2287	0.2251	0.7316	0.7150	713	0.71	1.5213		
7900	3950	38.75	130	1203	0.9050	0.8776	0.2541	0.2505	0.7857	0.7691	719	0.77	1.6467		
8508	4254	41.73	140	1207	0.9653	0.9379	0.2796	0.2760	0.8189	0.8023	726	0.84	1.7402		
9116	4558	44.71	150	1215	1.0750	1.0476	0.3122	0.3086	0.8854	0.8688	735	0.93	1.9164		
9724	4862	47.69	160	1223	1.1738	1.1464	0.3485	0.3449	0.9436	0.9270	745	1.03	2.0734		
10331	5166	50.67	170	1228	1.2670	1.2396	0.3667	0.3631	0.9935	0.9769	754	1.12	2.2165		
9724	4862	47.69	160	1239	1.2835	1.2561	0.3667	0.3631	1.0018	0.9852	754	1.12	2.2413		
9116	4558	44.71	150	1242	1.2286	1.2012	0.3703	0.3667	1.0018	0.9852	754	1.12	2.1864		
8508	4254	41.73	140	1246	1.1902	1.1628	0.3558	0.3522	0.9644	0.9478	754	1.12	2.1106		
7900	3950	38.75	130	1253	1.1518	1.1244	0.3522	0.3486	0.9478	0.9312	745	1.03	2.0556		
7293	3646	35.77	120	1259	1.1025	1.0751	0.3340	0.3304	0.8937	0.8771	742	1.00	1.9522		
6685	3342	32.79	110	1265	1.0641	1.0367	0.3231	0.3195	0.8522	0.8356	737	0.95	1.8723		
6077	3039	29.81	100	1270	0.9982	0.9708	0.3122	0.3086	0.8106	0.7940	733	0.91	1.7648		
5469	2735	26.83	90	1275	0.9544	0.9270	0.2941	0.2905	0.7441	0.7275	726	0.84	1.6545		
4862	2431	23.85	80	1279	0.9269	0.8995	0.2832	0.2796	0.7108	0.6942	724	0.82	1.5937		
4254	2127	20.87	70	1286	0.8556	0.8282	0.2650	0.2614	0.6443	0.6277	720	0.78	1.4559		
3646	1823	17.89	60	1293	0.8172	0.7898	0.2432	0.2396	0.6069	0.5903	714	0.72	1.3801		
3039	1519	14.90	50	1298	0.7624	0.7350	0.2360	0.2324	0.5570	0.5404	710	0.68	1.2754		
2431	1215	11.92	40	1305	0.7185	0.6911	0.2251	0.2215	0.4947	0.4781	705	0.63	1.1692		
1823	912	8.94	30	1311	0.6637	0.6363	0.2033	0.1997	0.4323	0.4157	700	0.58	1.0520		
1215	608	5.96	20	1318	0.6033	0.5759	0.1852	0.1816	0.3658	0.3492	694	0.52	0.9251		

CICLO 8

Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 4$ Mecánico H/2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 4$ Mecánico H/2 (mm)	$\Delta$ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
608	304	2.98	10	1327	0.5485	0.5211	0.1634	0.1598	0.2993	0.2827	689	0.47	0.8038		
1215	608	5.96	20	1332	0.5375	0.5101	0.1634	0.1598	0.3035	0.2869	689	0.47	0.7970		
1823	912	8.94	30	1339	0.5540	0.5266	0.1706	0.1670	0.3617	0.3451	691	0.49	0.8717		
2431	1215	11.92	40	1347	0.6088	0.5814	0.1743	0.1707	0.3824	0.3658	692	0.50	0.9472		
3039	1519	14.90	50	1353	0.6472	0.6198	0.1888	0.1852	0.4282	0.4116	695	0.53	1.0314		
3646	1823	17.89	60	1358	0.6637	0.6363	0.1924	0.1888	0.4697	0.4531	698	0.56	1.0894		
4254	2127	20.87	70	1363	0.7075	0.6801	0.2069	0.2033	0.5196	0.5030	701	0.59	1.1831		
4862	2431	23.85	80	1373	0.7679	0.7405	0.2251	0.2215	0.5861	0.5695	707	0.65	1.3100		
5469	2735	26.83	90	1383	0.7953	0.7679	0.2324	0.2288	0.6152	0.5986	714	0.72	1.3665		
6077	3039	29.81	100	1393	0.8885	0.8611	0.2650	0.2614	0.6942	0.6776	718	0.76	1.5387		
6685	3342	32.79	110	1397	0.9434	0.9160	0.2832	0.2796	0.7358	0.7192	724	0.82	1.6352		
7293	3646	35.77	120	1405	1.0202	0.9928	0.3050	0.3014	0.7857	0.7691	730	0.88	1.7619		
7900	3950	38.75	130	1410	1.0750	1.0476	0.3231	0.3195	0.8231	0.8065	736	0.94	1.8541		
8508	4254	41.73	140	1416	1.1299	1.1025	0.3413	0.3377	0.8813	0.8647	741	0.99	1.9672		
9116	4558	44.71	150	1421	1.1902	1.1628	0.3594	0.3558	0.9187	0.9021	748	1.06	2.0649		
9724	4862	47.69	160	1427	1.2560	1.2286	0.3703	0.3667	0.9686	0.9520	754	1.12	2.1806		
10331	5166	50.67	170	1435	1.3328	1.3054	0.3848	0.3812	1.0101	0.9935	760	1.18	2.2989		
10939	5469	53.66	180	1443	1.4261	1.3987	0.4175	0.4139	1.0808	1.0642	770	1.28	2.4629		
11547	5773	56.64	190	1453	1.5687	1.5413	0.4393	0.4357	1.1930	1.1764	783	1.41	2.7177		
12154	6077	59.62	200	1461	1.6619	1.6345	0.4647	0.4611	1.2679	1.2513	795	1.53	2.8858		
11547	5773	56.64	190	1477	1.6839	1.6565	0.4683	0.4647	1.2803	1.2637	795	1.53	2.9202		
10939	5469	53.66	180	1480	1.6400	1.6126	0.4720	0.4684	1.2762	1.2596	795	1.53	2.8722		
10331	5166	50.67	170	1486	1.6071	1.5797	0.4502	0.4466	1.2471	1.2305	793	1.51	2.8102		
9724	4862	47.69	160	1491	1.5577	1.5303	0.4357	0.4321	1.2346	1.2180	786	1.44	2.7483		
9116	4558	44.71	150	1496	1.5083	1.4809	0.4211	0.4175	1.1640	1.1474	784	1.42	2.6283		
8508	4254	41.73	140	1500	1.4699	1.4425	0.4139	0.4103	1.1265	1.1099	780	1.38	2.5524		
7900	3950	38.75	130	1507	1.4261	1.3987	0.4066	0.4030	1.0683	1.0517	775	1.33	2.4504		
7293	3646	35.77	120	1514	1.3657	1.3383	0.3885	0.3849	1.0351	1.0185	769	1.27	2.3568		
6685	3342	32.79	110	1521	1.3109	1.2835	0.3739	0.3703	0.9894	0.9728	764	1.22	2.2563		
6077	3039	29.81	100	1527	1.2725	1.2451	0.3594	0.3558	0.9478	0.9312	758	1.16	2.1763		
5469	2735	26.83	90	1534	1.2067	1.1793	0.3485	0.3449	0.8937	0.8771	752	1.10	2.0564		
4862	2431	23.85	80	1540	1.1409	1.1135	0.3231	0.3195	0.8314	0.8148	745	1.03	1.9283		
4254	2127	20.87	70	1543	1.1079	1.0805	0.3122	0.3086	0.7690	0.7524	740	0.98	1.8329		
3646	1823	17.89	60	1547	1.0531	1.0257	0.3013	0.2977	0.7358	0.7192	736	0.94	1.7449		
3039	1519	14.90	50	1556	0.9873	0.9599	0.2832	0.2796	0.6651	0.6485	731	0.89	1.6084		
2431	1215	11.92	40	1560	0.9379	0.9105	0.2723	0.2687	0.6235	0.6069	725	0.83	1.5174		
1823	912	8.94	30	1569	0.8721	0.8447	0.2578	0.2542	0.5570	0.5404	720	0.78	1.3851		
1215	608	5.96	20	1580	0.7898	0.7624	0.2360	0.2324	0.4822	0.4656	712	0.70	1.2280		

CICLO 9



Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 4$ Mecánico H/2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 4$ Mecánico H/2 (mm)	$\Delta$ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
608	304	2.98	10	1592	0.7459	0.7185	0.2142	0.2106	0.4240	0.4074	707	0.65	1.1259		
1215	608	5.96	20	1600	0.7350	0.7076	0.2178	0.2142	0.4531	0.4365	707	0.65	1.1441		
1823	912	8.94	30	1606	0.7679	0.7405	0.2287	0.2251	0.4697	0.4531	710	0.68	1.1936		
2431	1215	11.92	40	1617	0.8118	0.7844	0.2432	0.2396	0.4988	0.4822	710	0.68	1.2666		
3039	1519	14.90	50	1621	0.8282	0.8008	0.2469	0.2433	0.5362	0.5196	714	0.72	1.3204		
3646	1823	17.89	60	1626	0.8666	0.8392	0.2614	0.2578	0.5986	0.5820	716	0.74	1.4212		
4254	2127	20.87	70	1631	0.9160	0.8886	0.2723	0.2687	0.6526	0.6360	720	0.78	1.5246		
4862	2431	23.85	80	1635	0.9599	0.9325	0.2904	0.2868	0.7150	0.6984	726	0.84	1.6309		
5469	2735	26.83	90	1641	1.0366	1.0092	0.3086	0.3050	0.7607	0.7441	732	0.90	1.7533		
6077	3039	29.81	100	1644	1.0860	1.0586	0.3304	0.3268	0.7981	0.7815	738	0.96	1.8401		
6685	3342	32.79	110	1648	1.1354	1.1080	0.3413	0.3377	0.8189	0.8023	742	1.00	1.9103		
7293	3646	35.77	120	1654	1.2067	1.1793	0.3703	0.3667	0.8937	0.8771	749	1.07	2.0564		
7900	3950	38.75	130	1660	1.2889	1.2615	0.3848	0.3812	0.9395	0.9229	756	1.14	2.1844		
8508	4254	41.73	140	1664	1.3493	1.3219	0.3994	0.3958	0.9852	0.9686	762	1.20	2.2905		
9116	4558	44.71	150	1669	1.4151	1.3877	0.4175	0.4139	1.0268	1.0102	767	1.25	2.3979		
9724	4862	47.69	160	1677	1.4864	1.4590	0.4320	0.4284	1.0891	1.0725	775	1.33	2.5315		
10331	5166	50.67	170	1681	1.5358	1.5084	0.4393	0.4357	1.1224	1.1058	780	1.38	2.6142		
10939	5469	53.66	180	1687	1.6235	1.5961	0.4611	0.4575	1.2014	1.1848	787	1.45	2.7809		
11547	5773	56.64	190	1697	1.6948	1.6674	0.4829	0.4793	1.2596	1.2430	796	1.54	2.9104		
12154	6077	59.62	200	1703	1.7661	1.7387	0.5010	0.4974	1.3261	1.3095	794	1.52	3.0482		
12762	6381	62.60	210	1710	1.8649	1.8375	0.5373	0.5337	1.3967	1.3801	812	1.70	3.2176		
13370	6685	65.58	220	1719	2.0184	1.9910	0.5881	0.5845	1.5505	1.5339	825	1.83	3.5249		
13917	6958	68.26	229	1730	2.2378	2.2104	0.6462	0.6426	1.7127	1.6961			3.9065		

CICLO 10

Tabla 6.2 Ensayo de Cortante Directo Muro MC-1#5/120

Especimen	MC-1#5/120													
Fecha	20/02/2019													
Hora	09:05:00 a. m.													
Longitud	800 mm													
Celda	87.102													
Mod. Elástico	54393 MPa													
0	0	0.00	0	4538	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 4$ Diagonal Frontal ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 4$ Diagonal Fronta (mm)	$\Delta$ Final (mm)	$\Delta$ Env (mm)	P. Env. (kN)
871	436	4.27	10	4533	-0.05	1463	0.03	1718	0.04	2710	0.00	0.07	0.07	4.27
1307	653	6.41	15	4531	-0.07	1468	0.08	1718	0.04	2710	0.00	0.12	0.12	6.41
1742	871	8.54	20	4531	-0.07	1475	0.15	1718	0.04	2710	0.00	0.19	0.19	8.54
2178	1089	10.68	25	4531	-0.07	1485	0.25	1718	0.04	2710	0.00	0.29	0.29	10.68
1742	871	8.54	20	4531	-0.07	1485	0.25	1718	0.04	2710	0.00	0.29	0.36	10.68
1307	653	6.41	15	4531	-0.07	1480	0.20	1718	0.04	2710	0.00	0.24	0.50	12.82
871	436	4.27	10	4531	-0.07	1478	0.18	1718	0.04	2710	0.00	0.22	0.64	14.95
1307	653	6.41	15	4531	-0.07	1481	0.21	1718	0.04	2710	0.00	0.25	0.71	17.09
1742	871	8.54	20	4531	-0.07	1484	0.24	1722	0.08	2710	0.00	0.32	1.29	19.23
2178	1089	10.68	25	4531	-0.07	1485	0.25	1725	0.11	2710	0.00	0.36	1.29	19.23
2613	1307	12.82	30	4524	-0.14	1495	0.35	1729	0.15	2710	0.00	0.50	1.40	21.36
3049	1524	14.95	35	4524	-0.14	1505	0.45	1733	0.19	2710	0.00	0.64	1.63	23.50
3484	1742	17.09	40	4523	-0.15	1512	0.52	1733	0.19	2710	0.00	0.71	1.74	25.63
3920	1960	19.23	45	4556	0.18	1570	1.10	1733	0.19	2710	0.00	1.29	1.86	27.77
3484	1742	17.09	40	4556	0.18	1565	1.05	1733	0.19	2710	0.00	1.24	2.20	29.91
3049	1524	14.95	35	4556	0.18	1564	1.04	1733	0.19	2710	0.00	1.23	2.23	29.91
2613	1307	12.82	30	4556	0.18	1562	1.02	1733	0.19	2710	0.00	1.21	2.33	32.04
2178	1089	10.68	25	4556	0.18	1560	1.00	1733	0.19	2710	0.00	1.19	2.38	34.18
1742	871	8.54	20	4556	0.18	1559	0.99	1733	0.19	2710	0.00	1.18	2.50	36.32
1307	653	6.41	15	4556	0.18	1560	1.00	1730	0.16	2710	0.00	1.16	2.58	38.45
871	436	4.27	10	4570	0.32	1561	1.01	1725	0.11	2710	0.00	1.12	2.70	38.45
1307	653	6.41	15	4570	0.32	1561	1.01	1725	0.11	2710	0.00	1.12	2.76	38.45
1742	871	8.54	20	4570	0.32	1563	1.03	1725	0.11	2710	0.00	1.14	4.39	42.72
2178	1089	10.68	25	4570	0.32	1564	1.04	1725	0.11	2710	0.00	1.15		
2613	1307	12.82	30	4570	0.32	1568	1.08	1725	0.11	2710	0.00	1.19		
3049	1524	14.95	35	4570	0.32	1569	1.09	1726	0.12	2710	0.00	1.21		
3484	1742	17.09	40	4570	0.32	1570	1.10	1730	0.16	2710	0.00	1.26		
3920	1960	19.23	45	4575	0.37	1571	1.11	1732	0.18	2710	0.00	1.29		
4355	2178	21.36	50	4575	0.37	1579	1.19	1735	0.21	2710	0.00	1.40		
4791	2395	23.50	55	4590	0.52	1600	1.40	1737	0.23	2710	0.00	1.63		
5226	2613	25.63	60	4606	0.68	1610	1.50	1738	0.24	2710	0.00	1.74		
5662	2831	27.77	65	4616	0.78	1610	1.50	1750	0.36	2710	0.00	1.86		
6097	3049	29.91	70	4640	1.02	1642	1.82	1752	0.38	2710	0.00	2.20		
CICLO 1					CICLO 2					CICLO 3				

Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	$\delta 1$ H/2 (x10 <sup>-2</sup> mm)	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (x10 <sup>-2</sup> mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (x10 <sup>-2</sup> mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 4$ Diagonal Frontal (x10 <sup>-2</sup> mm)	$\Delta 4$ Diagonal Fronta (mm)	$\Delta$ Final (mm)	A Env (mm)	P. Env. (kN)
5662	2831	27.77	65	4640	1.02	1640	1.80	1752	0.38	2710	0.00	2.18		
5226	2613	25.63	60	4640	1.02	1639	1.79	1752	0.38	2710	0.00	2.17		
4791	2395	23.50	55	4640	1.02	1638	1.78	1752	0.38	2710	0.00	2.16		
4355	2178	21.36	50	4640	1.02	1635	1.75	1752	0.38	2710	0.00	2.13		
3920	1960	19.23	45	4640	1.02	1634	1.74	1752	0.38	2710	0.00	2.12		
3484	1742	17.09	40	4640	1.02	1632	1.72	1752	0.38	2710	0.00	2.10		
3049	1524	14.95	35	4640	1.02	1631	1.71	1745	0.31	2710	0.00	2.02		
2613	1307	12.82	30	4640	1.02	1631	1.71	1740	0.26	2710	0.00	1.97		
2178	1089	10.68	25	4640	1.02	1630	1.70	1733	0.19	2710	0.00	1.89		
1742	871	8.54	20	4643	1.05	1626	1.66	1725	0.11	2710	0.00	1.77		
1307	653	6.41	15	4651	1.13	1622	1.62	1719	0.05	2710	0.00	1.67		
871	436	4.27	10	4655	1.17	1622	1.62	1712	-0.02	2710	0.00	1.60		
1307	653	6.41	15	4755	2.17	1626	1.66	1711	-0.03	2710	0.00	1.63		
1742	871	8.54	20	4756	2.18	1630	1.70	1711	-0.03	2710	0.00	1.67		
2178	1089	10.68	25	4757	2.19	1632	1.72	1711	-0.03	2710	0.00	1.69		
2613	1307	12.82	30	4757	2.19	1636	1.76	1713	-0.01	2710	0.00	1.75		
3049	1524	14.95	35	4757	2.19	1638	1.78	1715	0.01	2710	0.00	1.79		
3484	1742	17.09	40	4760	2.22	1639	1.79	1718	0.04	2710	0.00	1.83		
3920	1960	19.23	45	4760	2.22	1640	1.80	1721	0.07	2710	0.00	1.87		
4355	2178	21.36	50	4760	2.22	1640	1.80	1725	0.11	2710	0.00	1.91		
4791	2395	23.50	55	4760	2.22	1641	1.81	1731	0.17	2710	0.00	1.98		
5226	2613	25.63	60	4760	2.22	1642	1.82	1737	0.23	2710	0.00	2.05		
5662	2831	27.77	65	4760	2.22	1643	1.83	1740	0.26	2710	0.00	2.09		
6097	3049	29.91	70	4760	2.22	1645	1.85	1752	0.38	2710	0.00	2.23		
6533	3266	32.04	75	4765	2.27	1648	1.88	1759	0.45	2710	0.00	2.33		
6968	3484	34.18	80	4765	2.27	1650	1.90	1762	0.48	2710	0.00	2.38		
7404	3702	36.32	85	4765	2.27	1653	1.93	1771	0.57	2710	0.00	2.50		
7839	3920	38.45	90	4765	2.27	1658	1.98	1774	0.60	2710	0.00	2.58		
7404	3702	36.32	85	4765	2.27	1660	2.00	1774	0.60	2710	0.00	2.60		
6968	3484	34.18	80	4765	2.27	1662	2.02	1774	0.60	2710	0.00	2.62		
6533	3266	32.04	75	4630	0.92	1664	2.04	1774	0.60	2710	0.00	2.64		
6097	3049	29.91	70	4630	0.92	1665	2.05	1774	0.60	2710	0.00	2.65		
5662	2831	27.77	65	4615	0.77	1660	2.00	1774	0.60	2710	0.00	2.60		
5226	2613	25.63	60	4615	0.77	1655	1.95	1774	0.60	2710	0.00	2.55		
4791	2395	23.50	55	4615	0.77	1650	1.90	1764	0.50	2710	0.00	2.40		
4355	2178	21.36	50	4610	0.72	1652	1.92	1764	0.50	2710	0.00	2.42		

CICLO 3

CICLO 4

Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	$\delta 1$ H/2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 4$ Diagonal Frontal ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 4$ Diagonal Fronta (mm)	$\Delta$ Final (mm)	$\Delta$ Env (mm)	P. Env. (kN)
3920	1960	19.23	45	4610	0.72	1653	1.93	1760	0.46	2710	0.00	2.39		
3484	1742	17.09	40	4610	0.72	1655	1.95	1756	0.42	2710	0.00	2.37		
3049	1524	14.95	35	4660	1.22	1654	1.94	1747	0.33	2710	0.00	2.27		
2613	1307	12.82	30	4660	1.22	1654	1.94	1742	0.28	2710	0.00	2.22		
2178	1089	10.68	25	4670	1.32	1653	1.93	1736	0.22	2710	0.00	2.15		
1742	871	8.54	20	4671	1.33	1650	1.90	1729	0.15	2710	0.00	2.05		
1307	653	6.41	15	4685	1.47	1648	1.88	1711	-0.03	2710	0.00	1.85		
871	436	4.27	10	4685	1.47	1648	1.88	1709	-0.05	2710	0.00	1.83		
1307	653	6.41	15	4685	1.47	1648	1.88	1709	-0.05	2710	0.00	1.83		
1742	871	8.54	20	4687	1.49	1650	1.90	1709	-0.05	2710	0.00	1.85		
2178	1089	10.68	25	4689	1.51	1655	1.95	1709	-0.05	2710	0.00	1.90		
2613	1307	12.82	30	4692	1.54	1660	2.00	1711	-0.03	2710	0.00	1.97		
3049	1524	14.95	35	4692	1.54	1663	2.03	1714	0.00	2710	0.00	2.03		
3484	1742	17.09	40	4692	1.54	1664	2.04	1719	0.05	2710	0.00	2.09		
3920	1960	19.23	45	4692	1.54	1665	2.05	1722	0.08	2710	0.00	2.13		
4355	2178	21.36	50	4692	1.54	1665	2.05	1726	0.12	2710	0.00	2.17		
4791	2395	23.50	55	4692	1.54	1664	2.04	1735	0.21	2710	0.00	2.25		
5226	2613	25.63	60	4670	1.32	1661	2.01	1739	0.25	2710	0.00	2.26		
5662	2831	27.77	65	4664	1.26	1661	2.01	1744	0.30	2710	0.00	2.31		
6097	3049	29.91	70	4645	1.07	1660	2.00	1751	0.37	2710	0.00	2.37		
6533	3266	32.04	75	4640	1.02	1660	2.00	1755	0.41	2710	0.00	2.41		
6968	3484	34.18	80	4635	0.97	1660	2.00	1764	0.50	2710	0.00	2.50		
7404	3702	36.32	85	4630	0.92	1660	2.00	1771	0.57	2710	0.00	2.57		
7839	3920	38.45	90	4624	0.86	1669	2.09	1775	0.61	2710	0.00	2.70		
7404	3702	36.32	85	4624	0.86	1669	2.09	1775	0.61	2710	0.00	2.70		
6968	3484	34.18	80	4615	0.77	1668	2.08	1775	0.61	2710	0.00	2.69		
6533	3266	32.04	75	4610	0.72	1667	2.07	1774	0.60	2710	0.00	2.67		
6097	3049	29.91	70	4605	0.67	1665	2.05	1774	0.60	2710	0.00	2.65		
5226	2613	25.63	60	4594	0.56	1662	2.02	1774	0.60	2710	0.00	2.62		
4791	2395	23.50	55	4594	0.56	1662	2.02	1764	0.50	2710	0.00	2.52		
4355	2178	21.36	50	4594	0.56	1662	2.02	1764	0.50	2710	0.00	2.52		
3920	1960	19.23	45	4594	0.56	1668	2.08	1759	0.45	2710	0.00	2.53		
3484	1742	17.09	40	4640	1.02	1670	2.10	1752	0.38	2710	0.00	2.48		
3049	1524	14.95	35	4660	1.22	1670	2.10	1739	0.25	2710	0.00	2.35		
2613	1307	12.82	30	4667	1.29	1670	2.10	1739	0.25	2710	0.00	2.35		
2178	1089	10.68	25	4675	1.37	1670	2.10	1733	0.19	2710	0.00	2.29		
1742	871	8.54	20	4684	1.46	1665	2.05	1726	0.12	2710	0.00	2.17		

CICLO 4

CICLO 5

Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	$\delta 1$ H/2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 4$ Diagonal Frontal ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 4$ Diagonal Fronta (mm)	$\Delta$ Final (mm)	$\Delta$ Env (mm)	P. Env. (kN)
871	436	4.27	10	4692	1.54	1658	1.98	1709	-0.05	2710	0.00	1.93		
1307	653	6.41	15	4692	1.54	1658	1.98	1709	-0.05	2710	0.00	1.93		
1742	871	8.54	20	4692	1.54	1662	2.02	1709	-0.05	2710	0.00	1.97		
2178	1089	10.68	25	4696	1.58	1668	2.08	1709	-0.05	2710	0.00	2.03		
2613	1307	12.82	30	4698	1.60	1670	2.10	1709	-0.05	2710	0.00	2.05		
3049	1524	14.95	35	4702	1.64	1675	2.15	1713	-0.01	2710	0.00	2.14		
3484	1742	17.09	40	4702	1.64	1678	2.18	1717	0.03	2710	0.00	2.21		
3920	1960	19.23	45	4702	1.64	1678	2.18	1721	0.07	2710	0.00	2.25		
4355	2178	21.36	50	4702	1.64	1676	2.16	1725	0.11	2710	0.00	2.27		
4791	2395	23.50	55	4702	1.64	1674	2.14	1731	0.17	2710	0.00	2.31		
5226	2613	25.63	60	4670	1.32	1672	2.12	1738	0.24	2710	0.00	2.36		
5662	2831	27.77	65	4646	1.08	1670	2.10	1744	0.30	2710	0.00	2.40		
6097	3049	29.91	70	4635	0.97	1678	2.18	1746	0.32	2710	0.00	2.50		
6533	3266	32.04	75	4630	0.92	1677	2.17	1752	0.38	2710	0.00	2.55		
6968	3484	34.18	80	4624	0.86	1675	2.15	1756	0.42	2710	0.00	2.57		
7404	3702	36.32	85	4610	0.72	1674	2.14	1769	0.55	2710	0.00	2.69		
7839	3920	38.45	90	4606	0.68	1672	2.12	1778	0.64	2710	0.00	2.76		
8100	4050	39.73	93	4628	0.90	1721	2.61	1778	0.64	2710	0.00	3.25		
8710	4355	42.72	100	4680	1.42	1835	3.75	1778	0.64	2710	0.00	4.39		
8884	4442	43.58	102	4695	1.57	1868	4.08	1778	0.64	2710	0.00	4.72		

CICLO 6

Tabla 6.3 Ensayo de Cortante Directo Muro MC-1#5/60

Especimen	MC-1#5/60
Fecha	14/02/2019
Hora	11:40:00 a. m.
Longitud	800 mm
Celda	87.102
Mod. Elástico	54393 MPa

Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\delta 4$ Diagonal Frontal (mm)	$\delta 4$ Diagonal Frontal (mm)	$\delta 5$ Diagonal Posterior (mm)	$\delta 5$ Diagonal Posterior (mm)	$\delta 6$ Mecánico H/2 (x10 <sup>-2</sup> mm)	$\Delta 6$ Mecánico H/2 (mm)	$\Delta$ Final (mm)	Env. (mm)	P.Env. (kN)
436	218	2.14	5	1	0.0048	0.0000	-0.0374	0.0000	-0.1255	0.0000	0.1289	0.0000	0.0000	0.0000	2779.00	0.00	0.0000	0.0000	2.14
871	436	4.27	10	19	0.0000	-0.0048	-0.0237	0.0137	-0.1255	0.0000	0.1039	-0.0250	-0.0036	-0.0036	2779.00	0.00	-0.0048	-0.0048	4.27
1307	653	6.41	15	24	0.0048	0.0000	-0.0148	0.0226	-0.0688	0.0567	0.0582	-0.0707	0.0036	0.0036	2779.00	0.00	0.0567	0.0567	6.41
1742	871	8.54	20	29	-0.0048	-0.0096	-0.0079	0.0295	-0.0364	0.0891	0.0208	-0.1081	0.0036	0.0036	2779.00	0.00	0.0795	0.0795	8.54
2178	1089	10.68	25	34	0.0000	-0.0048	0.0010	0.0384	-0.0081	0.1174	-0.0208	-0.1497	0.0000	0.0000	2779.00	0.00	0.1126	0.1126	10.68
2613	1307	12.82	30	44	-0.0048	-0.0096	0.0138	0.0512	0.0283	0.1538	-0.0831	-0.2120	0.0000	0.0000	2779.00	0.00	0.1442	0.1442	12.82
3049	1524	14.95	35	54	0.0000	-0.0048	0.0355	0.0709	0.1255	0.2510	-0.1912	-0.3201	0.0000	0.0000	2779.00	0.00	0.2462	0.2462	14.95
3484	1742	17.09	40	60	-0.0048	-0.0096	0.0453	0.0827	0.1903	0.3158	-0.2453	-0.3742	-0.0036	-0.0036	2779.00	0.00	0.3062	0.3062	17.09
3049	1524	14.95	35	77	0.0000	-0.0048	0.0542	0.0916	0.2146	0.3401	-0.2660	-0.3949	-0.0036	-0.0036	2779.00	0.00	0.3353	0.3353	14.95
2613	1307	12.82	30	90	0.0144	0.0096	0.0532	0.0906	0.1336	0.2591	-0.2328	-0.3617	-0.0036	-0.0036	2779.00	0.00	0.2687	0.2687	12.82
2178	1089	10.68	25	96	0.0048	0.0000	0.0532	0.0906	0.0769	0.2024	-0.1995	-0.3284	0.0000	0.0000	2779.00	0.00	0.2024	0.2024	10.68
1742	871	8.54	20	103	0.0048	0.0000	0.0434	0.0808	0.0283	0.1538	-0.1538	-0.2827	-0.0036	-0.0036	2779.00	0.00	0.1538	0.1538	8.54
1307	653	6.41	15	110	-0.0048	-0.0096	0.0325	0.0699	0.0000	0.1255	-0.1039	-0.2328	-0.0036	-0.0036	2779.00	0.00	0.1159	0.1159	6.41
871	436	4.27	10	121	0.0048	0.0000	0.0187	0.0561	-0.0283	0.0972	-0.0457	-0.1746	0.0000	0.0000	2779.00	0.00	0.0972	0.0972	4.27
1307	653	6.41	15	127	-0.0048	-0.0096	0.0207	0.0581	-0.0364	0.0891	-0.0582	-0.1871	-0.0073	-0.0073	2780.00	0.01	0.0795	0.0795	6.41
1742	871	8.54	20	132	0.0000	-0.0048	0.0325	0.0699	-0.0121	0.1134	-0.1206	-0.2495	-0.0073	-0.0073	2781.00	0.02	0.1086	0.1086	8.54
2178	1089	10.68	25	138	-0.0048	-0.0096	0.0404	0.0778	0.0445	0.1700	-0.1663	-0.2952	0.0000	0.0000	2782.00	0.03	0.1604	0.1604	10.68
2613	1307	12.82	30	144	0.0000	-0.0048	0.0463	0.0837	0.1012	0.2267	-0.2120	-0.3409	-0.0036	-0.0036	2783.00	0.04	0.2219	0.2219	12.82
3049	1524	14.95	35	150	0.0000	-0.0048	0.0522	0.0896	0.1417	0.2672	-0.2577	-0.3866	0.0000	0.0000	2784.00	0.05	0.2624	0.2624	14.95
3484	1742	17.09	40	157	0.0000	-0.0048	0.0650	0.1024	0.2065	0.3320	-0.3242	-0.4531	-0.0036	-0.0036	2785.00	0.06	0.3272	0.3272	17.09
3920	1960	19.23	45	162	0.0000	-0.0048	0.0710	0.1084	0.2349	0.3604	-0.3575	-0.4864	0.0000	0.0000	2786.00	0.07	0.3556	0.3556	19.23
4355	2178	21.36	50	171	-0.0048	-0.0096	0.0936	0.1310	0.3442	0.4697	-0.5071	-0.6360	0.0036	0.0036	2787.00	0.08	0.4601	0.4601	21.36
4791	2395	23.50	55	178	0.0048	0.0000	0.1074	0.1448	0.3847	0.5102	-0.5944	-0.7233	0.0036	0.0036	2787.50	0.09	0.5102	0.5102	23.50
5226	2613	25.63	60	185	0.0048	0.0000	0.1192	0.1566	0.4333	0.5588	-0.6817	-0.8106	0.0000	0.0000	2788.00	0.09	0.5588	0.5588	25.63
5662	2831	27.77	65	195	0.0048	0.0000	0.1360	0.1734	0.4940	0.6195	-0.7774	-0.9063	-0.0036	-0.0036	2789.71	0.11	0.6195	0.6195	27.77
6097	3049	29.91	70	202	0.0048	0.0000	0.1498	0.1872	0.5466	0.6721	-0.8688	-0.9977	-0.0036	-0.0036	2791.43	0.12	0.6721	0.6721	29.91
6533	3266	32.04	75	210	0.0096	0.0048	0.1656	0.2030	0.6033	0.7288	-0.9686	-1.0975	-0.0036	-0.0036	2793.14	0.14	0.7336	0.7336	32.04
6968	3484	34.18	80	216	0.0048	0.0000	0.1794	0.2168	0.6600	0.7855	-1.0642	-1.1931	0.0000	0.0000	2794.86	0.16	0.7855	0.7855	34.18
6533	3266	32.04	75	228	0.0144	0.0096	0.1813	0.2187	0.6273	0.7531	-1.0101	-1.1390	0.0000	0.0000	2796.57	0.18	0.7627	0.7627	32.04
6097	3049	29.91	70	229	0.0144	0.0096	0.1823	0.2197	0.6155	0.7410	-1.0101	-1.1390	0.0000	0.0000	2798.29	0.19	0.7506	0.7506	29.91
5662	2831	27.77	65	236	0.0144	0.0096	0.1823	0.2197	0.5750	0.7005	-0.9769	-1.1058	-0.0036	-0.0036	2800.00	0.21	0.7101	0.7101	27.77
5226	2613	25.63	60	241	0.0048	0.0000	0.1823	0.2197	0.5545	0.6600	-0.9395	-1.0684	0.0036	0.0036	2800.33	0.21	0.6600	0.6600	25.63
4791	2395	23.50	55	248	0.0144	0.0096	0.1823	0.2197	0.4940	0.6195	-0.8813	-1.0102	0.0000	0.0000	2800.66	0.22	0.6291	0.6291	23.50
4355	2178	21.36	50	257	0.0096	0.0048	0.1754	0.2128	0.4495	0.5750	-0.8231	-0.9520	-0.0036	-0.0036	2801.00	0.22	0.5798	0.5798	21.36
3920	1960	19.23	45	260	0.0144	0.0096	0.1685	0.2059	0.4211	0.5466	-0.7815	-0.9104	0.0000	0.0000	2801.17	0.22	0.5562	0.5562	19.23
3484	1742	17.09	40	275	0.0144	0.0096	0.1616	0.1990	0.3847	0.5102	-0.7275	-0.8564	0.0000	0.0000	2801.33	0.22	0.5198	0.5198	17.09
3049	1524	14.95	35	275	0.0000	-0.0048	0.1528	0.1902	0.3199	0.4454	-0.6485	-0.7774	0.0000	0.0000	2801.50	0.23	0.4406	0.4406	14.95
2613	1307	12.82	30	280	0.0096	0.0048	0.1429	0.1803	0.2713	0.3968	-0.6028	-0.7317	0.0036	0.0036	2801.67	0.23	0.4016	0.4016	12.82
2178	1089	10.68	25	287	0.0000	-0.0048	0.1311	0.1685	0.2146	0.3401	-0.5238	-0.6527	0.0000	0.0000	2801.83	0.23	0.3353	0.3353	10.68
1742	871	8.54	20	294	0.0048	0.0000	0.1192	0.1566	0.1539	0.2794	-0.4531	-0.5820	-0.0036	-0.0036	2802.00	0.23	0.2794	0.2794	8.54
1307	653	6.41	15	300	0.0048	0.0000	0.1045	0.1419	0.0688	0.1943	-0.3700	-0.4989	0.0000	0.0000	2801.50	0.23	0.1943	0.1943	6.41

CICLO 1

CICLO 2



Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	δ1 H/2 (mm)	Δ1 H/2 (mm)	δ2 Abajo (mm)	Δ2 Abajo (mm)	δ3 Marco (mm)	Δ3 Marco (mm)	δ4 Diagonal Frontal (mm)	Δ4 Diagonal Frontal (mm)	δ5 Diagonal Posterior (mm)	Δ5 Diagonal Posterior (mm)	δ6 Mecánico H/2 (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ6 Mecánico H/2 (mm)	Δ Final (mm)	Env. (mm)	P.Env. (kN)
871	436	4.27	10	307	0.0000	-0.0048	0.0917	0.1291	0.0040	0.1295	-0.2951	-0.4240	0.0000	0.0000	2801.00	0.22	0.1247		
1307	653	6.41	15	313	0.0096	0.0048	0.0917	0.1291	0.0040	0.1255	-0.2993	-0.4282	0.0000	0.0000	2805.50	0.27	0.1303		
1742	871	8.54	20	317	0.0144	0.0096	0.1035	0.1409	0.0045	0.1700	-0.3866	-0.5155	0.0036	0.0036	2810.00	0.31	0.1796		
2178	1089	10.68	25	322	0.0048	0.0000	0.1133	0.1507	0.1174	0.2429	-0.4864	-0.6153	0.0036	0.0036	2810.25	0.31	0.2429		
2613	1307	12.82	30	331	0.0048	0.0000	0.1202	0.1576	0.1417	0.2672	-0.5362	-0.6651	0.0036	0.0036	2810.50	0.32	0.2672		
3049	1524	14.95	35	341	0.0000	-0.0048	0.1311	0.1685	0.1944	0.3199	-0.6111	-0.7400	-0.0036	-0.0036	2810.75	0.32	0.3151		
3484	1742	17.09	40	348	-0.0048	-0.0096	0.1399	0.1773	0.2268	0.3523	-0.6901	-0.8190	0.0036	0.0036	2811.00	0.32	0.3427		
3920	1960	19.23	45	355	0.0000	-0.0048	0.1488	0.1862	0.2875	0.4130	-0.7524	-0.8813	-0.0036	-0.0036	2811.25	0.32	0.4082		
4355	2178	21.36	50	360	-0.0048	-0.0096	0.1547	0.1921	0.3280	0.4535	-0.8065	-0.9354	0.0000	0.0000	2811.50	0.33	0.4439		
4791	2395	23.50	55	365	0.0048	0.0000	0.1606	0.1980	0.3685	0.4940	-0.8605	-0.9894	-0.0036	-0.0036	2811.75	0.33	0.4940		
5226	2613	25.63	60	370	0.0096	0.0048	0.1675	0.2049	0.4171	0.5426	-0.9145	-1.0434	0.0000	0.0000	2812.00	0.33	0.5474		
5662	2831	27.77	65	374	0.0048	0.0000	0.1744	0.2118	0.4697	0.5952	-0.9561	-1.0850	0.0036	0.0036	2812.25	0.33	0.5952		
6097	3049	29.91	70	380	0.0192	0.0144	0.1813	0.2187	0.5143	0.6398	-1.0101	-1.1390	-0.0036	-0.0036	2812.50	0.34	0.6542		
6533	3266	32.04	75	385	0.0240	0.0192	0.1912	0.2286	0.5871	0.7126	-1.0850	-1.2139	0.0000	0.0000	2812.75	0.34	0.7318		
6968	3484	34.18	80	390	0.0385	0.0337	0.1981	0.2355	0.6398	0.7653	-1.1473	-1.2762	-0.0036	-0.0036	2813.00	0.34	0.7990		
7404	3702	36.32	85	395	0.0433	0.0385	0.2050	0.2424	0.6803	0.8058	-1.2014	-1.3303	-0.0036	-0.0036	2813.25	0.34	0.8443		
7839	3920	38.45	90	400	0.0529	0.0481	0.2139	0.2513	0.7370	0.8625	-1.2803	-1.4092	-0.0036	-0.0036	2813.50	0.35	0.9106		
8275	4137	40.59	95	405	0.0721	0.0673	0.2227	0.2601	0.7896	0.9151	-1.3635	-1.4924	0.0000	0.0000	2813.75	0.35	0.9824		
8710	4355	42.72	100	410	0.0913	0.0865	0.2336	0.2710	0.8382	0.9637	-1.4508	-1.5797	0.0036	0.0036	2814.00	0.35	1.0502		
9146	4573	44.86	105	415	0.1346	0.1298	0.2444	0.2818	0.8787	1.0042	-1.5339	-1.6628	0.0000	0.0000	2814.25	0.35	1.1340		
9581	4791	47.00	110	420	0.3653	0.3605	0.2562	0.2936	0.9273	1.0528	-1.6254	-1.7543	0.0000	0.0000	2814.50	0.36	1.4133		
10017	5008	49.13	115	427	0.4086	0.4038	0.2661	0.3035	0.9556	1.0811	-1.7085	-1.8374	0.0000	0.0000	2814.75	0.36	1.4849		
10452	5226	51.27	120	436	0.5095	0.5047	0.2759	0.3133	1.0083	1.1338	-1.8831	-2.0120	0.0036	0.0036	2815.00	0.36	1.6385		
10017	5008	49.13	115	448	0.6153	0.6105	0.2759	0.3133	0.8665	0.9920	-1.9205	-2.0494	0.0000	0.0000	2825.00	0.46	1.6025		
9581	4791	47.00	110	451	0.6201	0.6153	0.2779	0.3153	0.8503	0.9758	-1.9164	-2.0453	0.0000	0.0000	2835.00	0.56	1.5911		
8710	4355	42.72	100	464	0.6297	0.6249	0.2779	0.3153	0.8341	0.9596	-1.9080	-2.0369	0.0000	0.0000	2836.00	0.57	1.5845		
8275	4137	40.59	95	476	0.6345	0.6297	0.2779	0.3153	0.7856	0.9111	-1.8499	-1.9788	0.0036	0.0036	2837.00	0.58	1.5408		
7839	3920	38.45	90	480	0.6393	0.6345	0.2700	0.3074	0.7329	0.8584	-1.7917	-1.9206	0.0000	0.0000	2838.00	0.59	1.4929		
7404	3702	36.32	85	482	0.6441	0.6393	0.2641	0.3015	0.7086	0.8341	-1.7293	-1.8582	0.0000	0.0000	2839.00	0.60	1.4734		
6968	3484	34.18	80	485	0.6393	0.6345	0.2592	0.2966	0.6803	0.8058	-1.6919	-1.8208	-0.0036	-0.0036	2840.00	0.61	1.4403		
6533	3266	32.04	75	487	0.6345	0.6297	0.2552	0.2926	0.6479	0.7734	-1.6503	-1.7792	0.0000	0.0000	2840.07	0.61	1.4079		
6097	3049	29.91	70	489	0.6345	0.6297	0.2503	0.2877	0.6155	0.7410	-1.6046	-1.7335	0.0036	0.0036	2840.14	0.61	1.3707		
5662	2831	27.77	65	492	0.6345	0.6297	0.2424	0.2798	0.5669	0.6924	-1.5422	-1.6711	-0.0036	-0.0036	2840.21	0.61	1.3221		
5226	2613	25.63	60	496	0.6297	0.6249	0.2336	0.2710	0.5305	0.6560	-1.4716	-1.6005	-0.0036	-0.0036	2840.29	0.61	1.2809		
4791	2395	23.50	55	499	0.6153	0.6105	0.2276	0.2650	0.4900	0.6155	-1.4175	-1.5464	-0.0036	-0.0036	2840.36	0.61	1.2260		
4355	2178	21.36	50	503	0.6008	0.5960	0.2198	0.2572	0.4576	0.5831	-1.3593	-1.4882	0.0073	0.0073	2840.43	0.61	1.1791		
3920	1960	19.23	45	509	0.5816	0.5768	0.2099	0.2473	0.4090	0.5345	-1.2762	-1.4051	0.0073	0.0073	2840.50	0.62	1.1113		
3484	1742	17.09	40	516	0.5720	0.5672	0.2001	0.2375	0.3482	0.4737	-1.2014	-1.3303	0.0000	0.0000	2840.57	0.62	1.0409		
3049	1524	14.95	35	523	0.5624	0.5576	0.1912	0.2286	0.2915	0.4170	-1.1307	-1.2596	-0.0036	-0.0036	2840.64	0.62	0.9746		
2613	1307	12.82	30	531	0.5480	0.5432	0.1813	0.2187	0.2482	0.3482	-1.0434	-1.1723	0.0000	0.0000	2840.71	0.62	0.8914		
2178	1089	10.68	25	536	0.5336	0.5288	0.1705	0.2079	0.1620	0.2875	-0.9644	-1.0933	0.0000	0.0000	2840.79	0.62	0.8163		
1742	871	8.54	20	540	0.5191	0.5143	0.1587	0.1961	0.1053	0.2308	-0.8896	-1.0185	-0.0036	-0.0036	2840.86	0.62	0.7451		
1307	653	6.41	15	545	0.4038	0.3990	0.1429	0.1803	0.0283	0.1538	-0.7940	-0.9229	0.0000	0.0000	2840.93	0.62	0.5528		

CICLO 3

Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	δ1 H/2 (mm)	Δ1 H/2 (mm)	δ2 Abajo (mm)	Δ2 Abajo (mm)	δ3 Marco (mm)	Δ3 Marco (mm)	δ4 Diagonal Frontal (mm)	Δ4 Diagonal Frontal (mm)	δ5 Diagonal Posterior (mm)	Δ5 Diagonal Posterior (mm)	δ6 Mecánico H/2 (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ6 Mecánico H/2 (mm)	Δ Final (mm)	Env. (mm)	P.Env. (kN)
871	436	4.27	10	552	0.3845	0.3797	0.1281	0.1655	-0.0324	0.0931	-0.6776	-0.8065	-0.0036	-0.0036	2841.00	0.62	0.4728		
1742	871	8.54	20	581	0.3749	0.3701	0.1380	0.1754	0.0000	0.1255	-0.7483	-0.8772	0.0000	0.0000	2842.00	0.63	0.4956		
3484	1742	17.09	40	589	0.3509	0.3461	0.1734	0.2108	0.1660	0.2915	-1.0600	-1.1889	0.0000	0.0000	2842.00	0.63	0.6376		
4355	2178	21.36	50	596	0.4086	0.4038	0.1912	0.2286	0.2592	0.3847	-1.2180	-1.3469	-0.0036	-0.0036	2842.00	0.63	0.7885		
5226	2613	25.63	60	602	0.5384	0.5336	0.2079	0.2453	0.3563	0.4818	-1.3760	-1.5049	-0.0036	-0.0036	2842.14	0.63	1.0154		
6097	3049	29.91	70	608	0.5624	0.5576	0.2208	0.2582	0.4454	0.5709	-1.4965	-1.6254	-0.0036	-0.0036	2842.29	0.63	1.1285		
6968	3484	34.18	80	614	0.5912	0.5864	0.2316	0.2690	0.5224	0.6479	-1.6129	-1.7418	0.0000	0.0000	2842.43	0.63	1.2343		
7839	3920	38.45	90	621	0.6105	0.6057	0.2444	0.2818	0.6236	0.7491	-1.7293	-1.8582	0.0000	0.0000	2842.57	0.64	1.3548		
8710	4355	42.72	100	628	0.6201	0.6153	0.2582	0.2956	0.7289	0.8544	-1.8665	-1.9954	0.0000	0.0000	2842.71	0.64	1.4697		
9581	4791	47.00	110	634	0.6489	0.6441	0.2700	0.3074	0.8139	0.9394	-1.9912	-2.1201	-0.0036	-0.0036	2842.86	0.64	1.5835		
10452	5226	51.27	120	641	0.7210	0.7162	0.2828	0.3202	0.8706	0.9961	-2.1658	-2.2947	0.0000	0.0000	2843.00	0.64	1.7123		
11323	5662	55.54	130	651	0.8604	0.8556	0.2937	0.3311	0.9354	1.0609	-2.4485	-2.5774	0.0036	0.0036	2853.00	0.74	1.9165		
12020	6010	58.96	138	657	2.1294	2.1246	0.2089	0.2463	0.6681	0.7936	-2.9099	-3.0388	0.0000	0.0000	2975.00	1.96	2.9182		
13501	6750	66.22	155														5.0468		

CICLO 4

Tabla 6.4 Ensayo de Cortante Directo Muro MC-2#4/60

Especimen	MC-2#4/60														
Fecha	26/03/2019														
Hora	01:10:00 p. m.														
Longitud	800 mm														
Celda	84.353														
Mod. Elástico	55531 MPa														
Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 4$ Mecánico H/2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 4$ Mecánico H/2 (mm)	$\Delta$ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
127	63	0.62	2	7	-0.0110	0.0000	0.1162	0.0000	0.1330	0.0000	889	0.00	0.0000	0.0000	0.62
317	158	1.55	5	9	0.0000	0.0110	0.1307	0.0145	0.1164	-0.0166	891	0.02	-0.0201	-0.0201	1.55
633	317	3.11	10	10	0.0000	0.0110	0.1307	0.0145	0.1538	0.0208	895	0.06	0.0173	0.0173	3.11
950	475	4.66	15	30	0.0768	0.0878	0.1053	-0.0109	0.1663	0.0333	900	0.11	0.1320	0.1320	4.66
1267	633	6.21	20	39	0.1207	0.1317	0.1561	0.0399	0.2078	0.0748	905	0.16	0.1666	0.1666	6.21
1584	792	7.77	25	50	0.2194	0.2304	0.1380	0.0218	0.2162	0.0832	910	0.21	0.2918	0.2918	7.77
1900	950	9.32	30	56	0.2578	0.2688	0.1452	0.0290	0.2910	0.1580	914	0.25	0.3978	0.3978	9.32
2217	1108	10.87	35	64	0.3455	0.3565	0.2069	0.0907	0.3908	0.2578	923	0.34	0.5236	0.5236	10.87
2534	1267	12.43	40	71	0.4004	0.4114	0.2324	0.1162	0.4406	0.3076	927	0.38	0.6028	0.6028	12.43
2850	1425	13.98	45	78	0.4552	0.4662	0.1997	0.0835	0.4115	0.2785	931	0.42	0.6612	0.6612	12.43
2534	1267	12.43	40	84	0.4278	0.4388	0.2578	0.1416	0.4157	0.2827	930	0.41	0.5799	0.6779	13.98
2217	1108	10.87	35	88	0.4114	0.4224	0.3195	0.2033	0.4988	0.3658	927	0.38	0.5849	0.7558	15.53
1900	950	9.32	30	91	0.3839	0.3949	0.2650	0.1488	0.3824	0.2494	924	0.35	0.4955	0.8425	17.09
1584	792	7.77	25	97	0.3565	0.3675	0.2614	0.1452	0.3866	0.2536	922	0.33	0.4759	0.9308	18.64
1267	633	6.21	20	104	0.2742	0.2852	0.2106	0.0944	0.2993	0.1663	914	0.25	0.3571	1.0052	20.19
950	475	4.66	15	110	0.2413	0.2523	0.1597	0.0435	0.2328	0.0998	910	0.21	0.3086	1.0976	21.75
633	317	3.11	10	114	0.2029	0.2139	0.1997	0.0835	0.1995	0.0665	906	0.17	0.1969	1.1966	23.30
950	475	4.66	15	123	0.2029	0.2139	0.1779	0.0617	0.2286	0.0956	906	0.17	0.2478	1.1949	24.86
1267	633	6.21	20	128	0.2523	0.2633	0.1125	-0.0037	0.2453	0.1123	914	0.25	0.3793	1.2960	26.41
1584	792	7.77	25	137	0.2907	0.3017	0.1343	0.0181	0.2785	0.1455	917	0.28	0.4291	1.7123	27.96
1900	950	9.32	30	145	0.3455	0.3565	0.1234	0.0072	0.2494	0.1164	922	0.33	0.4657	1.8522	27.96
2217	1108	10.87	35	151	0.3839	0.3949	0.1634	0.0472	0.3367	0.2037	925	0.36	0.5514	1.9840	29.52
2534	1267	12.43	40	157	0.4333	0.4443	0.1960	0.0798	0.3575	0.2245	930	0.41	0.5890	2.0054	31.07
2850	1425	13.98	45	161	0.4552	0.4662	0.1706	0.0544	0.3991	0.2661	934	0.45	0.6779	2.1427	32.62
3167	1584	15.53	50	167	0.5211	0.5321	0.2251	0.1089	0.4656	0.3326	939	0.50	0.7558	2.2259	34.18
3484	1742	17.09	55	173	0.5978	0.6088	0.2941	0.1779	0.5446	0.4116	945	0.56	0.8425	2.3298	35.73
3800	1900	18.64	60	180	0.6472	0.6582	0.3050	0.1888	0.5944	0.4614	951	0.62	0.9308	2.4470	37.28
4117	2059	20.19	65	185	0.7075	0.7185	0.3159	0.1997	0.6194	0.4864	957	0.68	1.0052	2.5871	38.84
4434	2217	21.75	70	191	0.7624	0.7734	0.3449	0.2287	0.6859	0.5529	962	0.73	1.0976	2.7403	40.39
4751	2375	23.30	75	197	0.8447	0.8557	0.3739	0.2577	0.7316	0.5986	967	0.78	1.1966	2.9078	40.39
5067	2534	24.86	80	204	0.8776	0.8886	0.2215	0.1053	0.5446	0.4116	973	0.84	1.1949	3.0522	43.50
5384	2692	26.41	85	212	0.9379	0.9489	0.3594	0.2432	0.7233	0.5903	979	0.90	1.2960	3.1653	46.60

CICLO 1

CICLO 2

Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	δ1 H/2 (mm)	Δ1 H/2 (mm)	δ2 Abajo (mm)	Δ2 Abajo (mm)	δ3 Marco (mm)	Δ3 Marco (mm)	δ4 Mecánico H/2 (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ4 Mecánico H/2 (mm)	Δ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
5701	2850	27.96	90	230	1.3548	1.3658	0.5845	0.4683	0.9478	0.8148	1020	1.31	1.7123	3.5304	49.71
5384	2692	26.41	85	240	1.3986	1.4096	0.6535	0.5373	1.0559	0.9229	1018	1.29	1.7952	3.6192	52.82
5067	2534	24.86	80	254	1.3493	1.3603	0.8568	0.7406	1.2055	1.0725	1016	1.27	1.6922	3.8060	52.82
4751	2375	23.30	75	258	1.3383	1.3493	0.5918	0.4756	0.9395	0.8065	1013	1.24	1.6802	3.8691	55.92
4434	2217	21.75	70	263	1.3054	1.3164	0.6898	0.5736	0.9810	0.8480	1011	1.22	1.5908	4.1042	59.03
4117	2059	20.19	65	270	1.2670	1.2780	0.9875	0.8713	1.2637	1.1307	1007	1.18	1.5374	4.1502	59.03
3800	1900	18.64	60	276	1.2176	1.2286	0.0145	-0.1017	0.2660	0.1330	1004	1.15	1.4633	4.2838	62.14
3484	1742	17.09	55	284	1.2012	1.2122	-0.0073	-0.1235	0.2744	0.1414	999	1.10	1.4771	4.4924	65.24
3167	1584	15.53	50	292	1.1628	1.1738	-0.0073	-0.1235	0.2494	0.1164	994	1.05	1.4137	4.6991	68.35
2850	1425	13.98	45	302	1.1134	1.1244	-0.0472	-0.1634	0.1829	0.0499	991	1.02	1.3377	4.8619	71.46
2534	1267	12.43	40	311	1.0915	1.1025	0.0000	-0.1162	0.1580	0.0250	985	0.96	1.2437	5.0496	71.46
2217	1108	10.87	35	321	1.0366	1.0476	0.1489	0.0327	0.2827	0.1497	977	0.88	1.1646	5.3021	74.57
1900	950	9.32	30	330	0.9708	0.9818	0.1234	0.0072	0.2619	0.1289	973	0.84	1.1035	5.5312	77.67
1584	792	7.77	25	338	0.9160	0.9270	-0.0472	-0.1634	0.0083	-0.1247	968	0.79	0.9657	7.0028	79.85
1267	633	6.21	20	346	0.8502	0.8612	-0.0690	-0.1852	-0.0374	-0.1704	962	0.73	0.8760		
950	475	4.66	15	354	0.7898	0.8008	0.4938	0.3776	0.5030	0.3700	953	0.64	0.7932		
633	317	3.11	10	362	0.7021	0.7131	0.0980	-0.0182	0.1413	0.0083	946	0.57	0.7396		
950	475	4.66	15	369	0.7021	0.7131	0.7152	0.5990	0.7316	0.5986	949	0.60	0.7127		
1267	633	6.21	20	374	0.6966	0.7076	0.1053	-0.0109	0.1704	0.0374	952	0.63	0.7559		
1584	792	7.77	25	382	0.7405	0.7515	0.0799	-0.0363	0.1497	0.0167	955	0.66	0.8045		
1900	950	9.32	30	390	0.7843	0.7953	-0.0545	-0.1707	0.0624	-0.0706	959	0.70	0.8954		
2217	1108	10.87	35	399	0.8447	0.8557	-0.0327	-0.1489	0.1413	0.0083	965	0.76	1.0129		
2534	1267	12.43	40	404	0.8831	0.8941	0.1888	0.0726	0.3326	0.1996	970	0.81	1.0211		
2850	1425	13.98	45	411	0.9489	0.9599	0.1525	0.0363	0.3242	0.1912	976	0.87	1.1148		
3167	1584	15.53	50	417	1.0147	1.0257	0.5446	0.4284	0.7358	0.6028	983	0.94	1.2001		
3484	1742	17.09	55	424	1.0750	1.0860	0.1452	0.0290	0.3700	0.2370	988	0.99	1.2940		
3800	1900	18.64	60	430	1.1299	1.1409	0.4248	0.3086	0.6152	0.4822	995	1.06	1.3145		
4117	2059	20.19	65	435	1.2012	1.2122	0.0871	-0.0291	0.3118	0.1788	1003	1.14	1.4201		
4434	2217	21.75	70	443	1.2615	1.2725	0.6571	0.5409	0.9436	0.8106	1009	1.20	1.5422		
4751	2375	23.30	75	449	1.3273	1.3383	0.2178	0.1016	0.5446	0.4116	1015	1.26	1.6483		
5067	2534	24.86	80	454	1.3712	1.3822	-0.1779	-0.2941	0.1164	-0.0166	1020	1.31	1.6597		
5384	2692	26.41	85	461	1.4535	1.4645	-0.1997	-0.3159	0.1455	0.0125	1027	1.38	1.7929		
5701	2850	27.96	90	467	1.5029	1.5139	-0.1597	-0.2759	0.1954	0.0624	1035	1.46	1.8522		
6017	3009	29.52	95	474	1.5796	1.5906	-0.1525	-0.2687	0.2577	0.1247	1042	1.53	1.9840		
6334	3167	31.07	100	480	1.6290	1.6400	-0.1162	-0.2324	0.2660	0.1330	1049	1.60	2.0054		
6651	3325	32.62	105	488	1.7058	1.7168	-0.0436	-0.1598	0.3991	0.2661	1058	1.69	2.1427		
6968	3484	34.18	110	496	1.8045	1.8155	0.0218	-0.0944	0.4490	0.3160	1068	1.79	2.2259		

CICLO 2

CICLO 3

Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 4$ Mecánico H/2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 4$ Mecánico H/2 (mm)	$\Delta$ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
7284	3642	35.73	115	502	1.8758	1.8868	-0.0690	-0.1852	0.3908	0.2578	1079	1.90	2.3298		
7601	3800	37.28	120	512	1.9526	1.9636	-0.0762	-0.1924	0.4240	0.2910	1086	1.97	2.4470		
7918	3959	38.84	125	518	2.1336	2.1446	-0.0436	-0.1598	0.4157	0.2827	1097	2.08	2.5871		
8234	4117	40.39	130	524	2.2488	2.2598	0.0182	-0.0980	0.5155	0.3825	1107	2.18	2.7403		
7918	3959	38.84	125	532	2.2762	2.2872	0.0290	-0.0872	0.5362	0.4032	1105	2.16	2.7776		
7601	3800	37.28	120	536	2.2433	2.2543	0.0726	-0.0436	0.5820	0.4490	1104	2.15	2.7469		
7284	3642	35.73	115	541	2.2104	2.2214	-0.0327	-0.1489	0.4157	0.2827	1102	2.13	2.6530		
6651	3325	32.62	105	549	2.1610	2.1720	0.5046	0.3884	0.9270	0.7940	1095	2.06	2.5776		
6334	3167	31.07	100	560	2.1281	2.1391	0.3667	0.2505	0.7649	0.6319	1091	2.02	2.5205		
6017	3009	29.52	95	566	2.0842	2.0952	0.4756	0.3594	0.8480	0.7150	1073	1.84	2.4508		
5701	2850	27.96	90	572	2.0020	2.0130	0.2324	0.1162	0.5570	0.4240	1076	1.87	2.3208		
5384	2692	26.41	85	579	1.9910	2.0020	0.2578	0.1416	0.6028	0.4698	1074	1.85	2.3302		
5067	2534	24.86	80	586	1.9746	1.9856	0.6172	0.5010	0.9104	0.7774	1072	1.83	2.2620		
4751	2375	23.30	75	599	1.9471	1.9581	0.1779	0.0617	0.4490	0.3160	1067	1.78	2.2124		
4434	2217	21.75	70	603	1.8703	1.8813	0.1452	0.0290	0.4323	0.2993	1060	1.71	2.1516		
4117	2059	20.19	65	606	1.8210	1.8320	0.1489	0.0327	0.3824	0.2494	1055	1.66	2.0487		
3800	1900	18.64	60	611	1.7552	1.7662	0.1561	0.0399	0.3367	0.2037	1051	1.62	1.9300		
3484	1742	17.09	55	616	1.7058	1.7168	0.1634	0.0472	0.3908	0.2578	1047	1.58	1.9274		
3167	1584	15.53	50	624	1.6290	1.6400	0.1924	0.0762	0.3908	0.2578	1040	1.51	1.8216		
2850	1425	13.98	45	631	1.5906	1.6016	0.1743	0.0581	0.3367	0.2037	1033	1.44	1.7472		
2534	1267	12.43	40	639	1.5193	1.5303	0.2687	0.1525	0.3949	0.2619	1027	1.38	1.6397		
2217	1108	10.87	35	648	1.4754	1.4864	0.1089	-0.0073	0.2328	0.0998	1020	1.31	1.5935		
1900	950	9.32	30	657	1.4041	1.4151	0.1597	0.0435	0.2577	0.1247	1015	1.26	1.4963		
1584	792	7.77	25	666	1.3273	1.3383	0.1416	0.0254	0.2286	0.0956	1008	1.19	1.4085		
1267	633	6.21	20	677	1.2670	1.2780	0.1928	0.0766	0.1974	0.0644	1000	1.11	1.2658		
950	475	4.66	15	686	1.1518	1.1628	0.2069	0.0907	0.1995	0.0665	991	1.02	1.1386		
633	317	3.11	10	694	1.0860	1.0970	0.1634	0.0472	0.1330	0.0000	982	0.93	1.0498		
1267	633	6.21	20	704	1.0915	1.1025	0.1634	0.0472	0.2245	0.0915	987	0.98	1.1468		
1900	950	9.32	30	716	1.1738	1.1848	0.1343	0.0181	0.2120	0.0790	995	1.06	1.2457		
2534	1267	12.43	40	724	1.2670	1.2780	0.1416	0.0254	0.2577	0.1247	1007	1.18	1.3773		
3167	1584	15.53	50	731	1.4370	1.4480	0.1815	0.0653	0.3492	0.2162	1021	1.32	1.5989		
3800	1900	18.64	60	739	1.5796	1.5906	0.1779	0.0617	0.4157	0.2827	1036	1.47	1.8116		
4434	2217	21.75	70	745	1.6784	1.6894	0.3739	0.2577	0.6235	0.4905	1051	1.62	1.9222		
5067	2534	24.86	80	755	1.8155	1.8265	0.2360	0.1198	0.5030	0.3700	1062	1.73	2.0767		
5701	2850	27.96	90	761	1.8868	1.8978	0.2432	0.1270	0.5030	0.3700	1075	1.86	2.1408		
6334	3167	31.07	100	768	2.0404	2.0514	0.2650	0.1488	0.5986	0.4656	1086	1.97	2.3682		
6968	3484	34.18	110	777	2.1610	2.1720	0.2360	0.1198	0.6443	0.5113	1098	2.09	2.5635		
7601	3800	37.28	120	787	2.2762	2.2872	0.2796	0.1634	0.7233	0.5903	1110	2.21	2.7141		

CICLO 3

CICLO 4

Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 4$ Mecánico H/2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 4$ Mecánico H/2 (mm)	$\Delta$ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
8234	4117	40.39	130	796	2.4462	2.4572	0.4139	0.2977	0.8813	0.7483	1128	2.39	2.9078		
8868	4434	43.50	140	805	2.5669	2.5779	0.2904	0.1742	0.7815	0.6485	1143	2.54	3.0522		
9501	4751	46.60	150	814	2.7095	2.7205	0.1162	0.0000	0.5778	0.4448	1161	2.72	3.1653		
10135	5067	49.71	160	824	2.9728	2.9838	0.1017	-0.0145	0.6651	0.5321	1178	2.89	3.5304		
10768	5384	52.82	170	833	3.1099	3.1209	0.0835	-0.0327	0.5986	0.4656	1196	3.07	3.6192		
10135	5067	49.71	160	843	3.1373	3.1483	0.0581	-0.0581	0.5778	0.4448	1193	3.04	3.6512		
9501	4751	46.60	150	847	3.0880	3.0990	0.0327	-0.0835	0.5529	0.4199	1190	3.01	3.6024		
8868	4434	43.50	140	854	3.0551	3.0661	0.0290	-0.0872	0.5155	0.3825	1183	2.94	3.5358		
8234	4117	40.39	130	861	2.9783	2.9893	0.0290	-0.0872	0.4573	0.3243	1172	2.83	3.4008		
7601	3800	37.28	120	867	2.9179	2.9289	0.0000	-0.1162	0.3783	0.2453	1166	2.77	3.2904		
6968	3484	34.18	110	876	2.8028	2.8138	-0.0109	-0.1271	0.3492	0.2162	1157	2.68	3.1571		
6334	3167	31.07	100	884	2.7479	2.7589	0.0327	-0.0835	0.3617	0.2287	1146	2.57	3.0711		
5701	2850	27.96	90	893	2.6492	2.6602	-0.0036	-0.1198	0.2827	0.1497	1138	2.49	2.9297		
5067	2534	24.86	80	901	2.5450	2.5560	-0.0363	-0.1525	0.1912	0.0582	1129	2.40	2.7667		
4434	2217	21.75	70	908	2.4462	2.4572	-0.0254	-0.1416	0.1621	0.0291	1118	2.29	2.6279		
3800	1900	18.64	60	915	2.3530	2.3640	-0.0545	-0.1707	0.0707	-0.0623	1103	2.14	2.4724		
3167	1584	15.53	50	924	2.2104	2.2214	-0.0908	-0.2070	-0.0042	-0.1372	1091	2.02	2.2912		
2534	1267	12.43	40	935	2.0349	2.0459	-0.1198	-0.2360	-0.0333	-0.1663	1075	1.86	2.1156		
1900	950	9.32	30	948	1.9087	1.9197	-0.0980	-0.2142	-0.0956	-0.2286	1060	1.71	1.9053		
1267	633	6.21	20	955	1.7222	1.7332	-0.1779	-0.2941	-0.1580	-0.2910	1041	1.52	1.7363		
633	317	3.11	10	963	1.5029	1.5139	-0.1706	-0.2868	-0.2162	-0.3492	1020	1.31	1.4515		
1267	633	6.21	20	970	1.5138	1.5248	-0.1416	-0.2578	-0.1704	-0.3034	1025	1.36	1.4792		
1900	950	9.32	30	980	1.5796	1.5906	-0.0762	-0.1924	-0.0831	-0.2161	1033	1.44	1.5669		
2534	1267	12.43	40	988	1.7442	1.7552	-0.0508	-0.1670	0.0000	-0.1330	1046	1.57	1.7892		
3167	1584	15.53	50	994	1.8484	1.8594	-0.0290	-0.1452	0.0665	-0.0665	1062	1.73	1.9381		
3800	1900	18.64	60	1001	2.0678	2.0788	-0.0327	-0.1489	0.1330	0.0000	1080	1.91	2.2277		
4434	2217	21.75	70	1008	2.1939	2.2049	0.0690	-0.0472	0.2453	0.1123	1096	2.07	2.3644		
5067	2534	24.86	80	1015	2.3201	2.3311	0.0508	-0.0654	0.2494	0.1164	1110	2.21	2.5129		
5701	2850	27.96	90	1023	2.4408	2.4518	0.2904	0.1742	0.5362	0.4032	1123	2.34	2.6808		
6334	3167	31.07	100	1032	2.5505	2.5615	0.1162	0.0000	0.3575	0.2245	1135	2.46	2.7860		
6968	3484	34.18	110	1040	2.6821	2.6931	0.2287	0.1125	0.5238	0.3908	1146	2.57	2.9714		
7601	3800	37.28	120	1047	2.7424	2.7534	0.5591	0.4429	0.8231	0.6901	1156	2.67	3.0006		
8234	4117	40.39	130	1056	2.8850	2.8960	0.3413	0.2251	0.7067	0.5737	1167	2.78	3.2446		
8868	4434	43.50	140	1064	2.9838	2.9948	0.4538	0.3376	0.8148	0.6818	1178	2.89	3.3390		
9501	4751	46.60	150	1073	3.0825	3.0935	-0.0908	-0.2070	0.3367	0.2037	1189	3.00	3.5042		
10135	5067	49.71	160	1081	3.1703	3.1813	-0.0762	-0.1924	0.3824	0.2494	1200	3.11	3.6231		

CICLO 4

CICLO 5

Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 4$ Mecánico H/2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 4$ Mecánico H/2 (mm)	$\Delta$ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
10768	5384	52.82	170	1088	3.2690	3.2800	-0.1271	-0.2433	0.4157	0.2827	1212	3.23	3.8060		
11401	5701	55.92	180	1095	3.3732	3.3842	0.1343	0.0181	0.6360	0.5030	1226	3.37	3.8691		
12035	6017	59.03	190	1104	3.5158	3.5268	0.1416	0.0254	0.7358	0.6028	1240	3.51	4.1042		
11401	5701	55.92	180	1112	3.5158	3.5268	0.1706	0.0544	0.7399	0.6069	1238	3.49	4.0793		
10768	5384	52.82	170	1123	3.4829	3.4939	0.1452	0.0290	0.6859	0.5529	1234	3.45	4.0178		
10135	5067	49.71	160	1130	3.4280	3.4390	0.2106	0.0944	0.7150	0.5820	1227	3.38	3.9266		
9501	4751	46.60	150	1136	3.3567	3.3677	0.2142	0.0980	0.6859	0.5529	1220	3.31	3.8226		
8868	4434	43.50	140	1141	3.2745	3.2855	0.2832	0.1670	0.7067	0.5737	1210	3.21	3.6922		
8234	4117	40.39	130	1145	3.2086	3.2196	0.2541	0.1379	0.6693	0.5363	1200	3.11	3.6180		
7601	3800	37.28	120	1150	3.1209	3.1319	0.1888	0.0726	0.5155	0.3825	1192	3.03	3.4418		
6968	3484	34.18	110	1155	3.0660	3.0770	0.3957	0.2795	0.6734	0.5404	1184	2.95	3.3379		
6334	3167	31.07	100	1162	2.9673	2.9783	0.1271	0.0109	0.3824	0.2494	1175	2.86	3.2168		
5701	2850	27.96	90	1168	2.8850	2.8960	0.0653	-0.0509	0.2577	0.1247	1164	2.75	3.0716		
5067	2534	24.86	80	1177	2.7753	2.7863	-0.0581	-0.1743	0.1663	0.0333	1153	2.64	2.9939		
4434	2217	21.75	70	1186	2.6766	2.6876	-0.0436	-0.1598	0.0873	-0.0457	1141	2.52	2.8017		
3800	1900	18.64	60	1197	2.5559	2.5669	-0.0835	-0.1997	0.0333	-0.0997	1130	2.41	2.6669		
3167	1584	15.53	50	1209	2.3969	2.4079	-0.0980	-0.2142	-0.0707	-0.2037	1115	2.26	2.4184		
2534	1267	12.43	40	1216	2.2488	2.2598	-0.0835	-0.1997	-0.0624	-0.1954	1095	2.06	2.2641		
1900	950	9.32	30	1220	2.1007	2.1117	-0.1198	-0.2360	-0.0998	-0.2328	1080	1.91	2.1149		
1267	633	6.21	20	1228	1.8978	1.9088	-0.1561	-0.2723	-0.1871	-0.3201	1061	1.72	1.8610		
633	317	3.11	10	1239	1.6674	1.6784	-0.1561	-0.2723	-0.2536	-0.3866	1040	1.51	1.5641		
1267	633	6.21	20	1242	1.6784	1.6894	-0.1634	-0.2796	-0.2494	-0.3824	1047	1.58	1.5866		
1900	950	9.32	30	1253	1.8045	1.8155	-0.1271	-0.2433	-0.1497	-0.2827	1055	1.66	1.7761		
2534	1267	12.43	40	1262	1.9307	1.9417	-0.1307	-0.2469	-0.0665	-0.1995	1069	1.80	1.9891		
3167	1584	15.53	50	1268	2.1172	2.1282	-0.0944	-0.2106	-0.0042	-0.1372	1086	1.97	2.2016		
3800	1900	18.64	60	1273	2.2598	2.2708	-0.0617	-0.1779	-0.0166	-0.1496	1105	2.16	2.2991		
4434	2217	21.75	70	1280	2.4462	2.4572	-0.0182	-0.1344	0.0665	-0.0665	1121	2.32	2.5251		
5067	2534	24.86	80	1285	2.5724	2.5834	-0.0109	-0.1271	0.1746	0.0416	1136	2.47	2.7521		
5701	2850	27.96	90	1290	2.6931	2.7041	0.0218	-0.0944	0.2494	0.1164	1148	2.59	2.9149		
6334	3167	31.07	100	1296	2.7918	2.8028	0.0581	-0.0581	0.2785	0.1455	1159	2.70	3.0064		
6968	3484	34.18	110	1302	2.9454	2.9564	0.1053	-0.0109	0.3741	0.2411	1172	2.83	3.2084		
7601	3800	37.28	120	1305	2.9673	2.9783	0.0908	-0.0254	0.3533	0.2203	1180	2.91	3.2240		
8234	4117	40.39	130	1311	3.0551	3.0661	0.0762	-0.0400	0.3617	0.2287	1191	3.02	3.3348		
8868	4434	43.50	140	1317	3.1867	3.1977	0.0980	-0.0182	0.4490	0.3160	1202	3.13	3.5319		
9501	4751	46.60	150	1323	3.2580	3.2690	0.1017	-0.0145	0.5030	0.3700	1212	3.23	3.6535		
10135	5067	49.71	160	1329	3.3458	3.3568	0.1561	0.0399	0.5653	0.4323	1221	3.32	3.7492		
10768	5384	52.82	170	1339	3.4335	3.4445	0.1670	0.0508	0.6485	0.5155	1232	3.43	3.9092		
11401	5701	55.92	180	1346	3.5158	3.5268	0.2650	0.1488	0.7774	0.6444	1243	3.54	4.0224		

CICLO 5

CICLO 6



Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 4$ Mecánico H/2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 4$ Mecánico H/2 (mm)	$\Delta$ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
12035	6017	59.03	190	1353	3.6145	3.6255	0.3522	0.2360	0.8937	0.7607	1255	3.66	4.1502		
12668	6334	62.14	200	1360	3.7352	3.7462	0.2687	0.1525	0.8231	0.6901	1271	3.82	4.2838		
13302	6651	65.24	210	1368	3.8778	3.8888	0.2941	0.1779	0.9145	0.7815	1283	3.94	4.4924		
13935	6968	68.35	220	1377	4.0588	4.0698	0.3848	0.2686	1.0309	0.8979	1303	4.14	4.6991		
14569	7284	71.46	230	1388	4.2124	4.2234	0.2759	0.1597	0.9312	0.7982	1321	4.32	4.8619		
13935	6968	68.35	220	1399	4.3714	4.3824	0.1706	0.0544	0.8522	0.7192	1318	4.29	5.0472		
13302	6651	65.24	210	1402	4.3276	4.3386	0.1452	0.0290	0.7898	0.6568	1318	4.29	4.9664		
12668	6334	62.14	200	1409	4.2837	4.2947	0.1597	0.0435	0.7566	0.6236	1308	4.19	4.8748		
12035	6017	59.03	190	1414	4.2124	4.2234	0.1888	0.0726	0.6942	0.5612	1303	4.14	4.7120		
11401	5701	55.92	180	1421	4.1630	4.1740	0.1125	-0.0037	0.6526	0.5196	1295	4.06	4.6973		
10768	5384	52.82	170	1426	4.1082	4.1192	0.0762	-0.0400	0.5820	0.4490	1287	3.98	4.6082		
10135	5067	49.71	160	1433	4.0423	4.0533	0.0908	-0.0254	0.5404	0.4074	1280	3.91	4.4861		
9501	4751	46.60	150	1441	3.9601	3.9711	0.0653	-0.0509	0.4531	0.3201	1271	3.82	4.3421		
8868	4434	43.50	140	1449	3.8613	3.8723	0.0436	-0.0726	0.3908	0.2578	1260	3.71	4.2027		
8234	4117	40.39	130	1454	3.8120	3.8230	0.0327	-0.0835	0.3741	0.2411	1255	3.66	4.1476		
7601	3800	37.28	120	1462	3.7133	3.7243	0.0363	-0.0799	0.2951	0.1621	1244	3.55	3.9663		
6968	3484	34.18	110	1470	3.6200	3.6310	0.0254	-0.0908	0.2162	0.0832	1234	3.45	3.8050		
6334	3167	31.07	100	1479	3.5213	3.5323	0.0036	-0.1126	0.2203	0.0873	1225	3.36	3.7322		
5701	2850	27.96	90	1490	3.4445	3.4555	0.2796	0.1634	0.4490	0.3160	1214	3.25	3.6081		
5067	2534	24.86	80	1502	3.3074	3.3184	0.3776	0.2614	0.4406	0.3076	1203	3.14	3.3646		
4434	2217	21.75	70	1515	3.2086	3.2196	0.7297	0.6135	0.7441	0.6111	1190	3.01	3.2172		
3800	1900	18.64	60	1522	3.1154	3.1264	0.1924	0.0762	0.2411	0.1081	1175	2.86	3.1583		
3167	1584	15.53	50	1528	2.9509	2.9619	0.1452	0.0290	0.1580	0.0250	1160	2.71	2.9579		
2534	1267	12.43	40	1534	2.8247	2.8357	0.1561	0.0399	0.0831	-0.0499	1147	2.58	2.7459		
1900	950	9.32	30	1544	2.6492	2.6602	0.1053	-0.0109	0.0499	-0.0831	1128	2.39	2.5880		
1267	633	6.21	20	1557	2.4353	2.4463	0.1924	0.0762	0.1039	-0.0291	1105	2.16	2.3410		

CICLO 6

Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 4$ Mecánico H/2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 4$ Mecánico H/2 (mm)	$\Delta$ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
633	317	3.11	10	1567	2.0733	2.0843	0.1380	0.0218	0.0042	-0.1288	1078	1.89	1.9337		
1267	633	6.21	20	1572	2.1007	2.1117	0.1416	0.0254	0.0499	-0.0831	1083	1.94	2.0032		
1900	950	9.32	30	1586	2.2104	2.2214	0.0327	-0.0835	-0.0166	-0.1496	1095	2.06	2.1553		
2534	1267	12.43	40	1592	2.3366	2.3476	0.0290	-0.0872	0.0042	-0.1288	1108	2.19	2.3060		
3167	1584	15.53	50	1598	2.5176	2.5286	0.0327	-0.0835	0.0499	-0.0831	1126	2.37	2.5290		
3800	1900	18.64	60	1604	2.6766	2.6876	0.0545	-0.0617	0.0333	-0.0997	1143	2.54	2.6496		
4434	2217	21.75	70	1609	2.8357	2.8467	0.0581	-0.0581	0.0915	-0.0415	1160	2.71	2.8633		
5067	2534	24.86	80	1614	2.9563	2.9673	0.0653	-0.0509	0.1663	0.0333	1175	2.86	3.0515		
5701	2850	27.96	90	1621	3.1044	3.1154	0.0472	-0.0690	0.1912	0.0582	1186	2.97	3.2426		
6334	3167	31.07	100	1625	3.1703	3.1813	0.0363	-0.0799	0.2286	0.0956	1198	3.09	3.3568		
6968	3484	34.18	110	1634	3.3238	3.3348	0.0472	-0.0690	0.2785	0.1455	1211	3.22	3.5493		
7601	3800	37.28	120	1639	3.3896	3.4006	0.0327	-0.0835	0.2827	0.1497	1221	3.32	3.6338		
8234	4117	40.39	130	1647	3.5103	3.5213	0.0363	-0.0799	0.3118	0.1788	1232	3.43	3.7800		
8868	4434	43.50	140	1654	3.6200	3.6310	0.0799	-0.0363	0.3492	0.2162	1243	3.54	3.8835		
9501	4751	46.60	150	1660	3.6968	3.7078	0.0581	-0.0581	0.3824	0.2494	1255	3.66	4.0153		
10135	5067	49.71	160	1666	3.7791	3.7901	0.0726	-0.0436	0.4323	0.2993	1263	3.74	4.1330		
10768	5384	52.82	170	1676	3.8449	3.8559	0.1307	0.0145	0.4614	0.3284	1276	3.87	4.1698		
11401	5701	55.92	180	1683	3.9710	3.9820	0.1271	0.0109	0.5487	0.4157	1285	3.96	4.3868		
12035	6017	59.03	190	1690	4.0588	4.0698	0.1452	0.0290	0.5944	0.4614	1294	4.05	4.5022		
12668	6334	62.14	200	1697	4.1466	4.1576	0.1416	0.0254	0.6319	0.4989	1308	4.19	4.6311		
13302	6651	65.24	210	1703	4.2179	4.2289	0.1779	0.0617	0.6693	0.5363	1318	4.29	4.7035		
13935	6968	68.35	220	1711	4.3276	4.3386	0.1452	0.0290	0.7483	0.6153	1330	4.41	4.9249		
14569	7284	71.46	230	1718	4.4647	4.4757	0.2033	0.0871	0.7940	0.6610	1345	4.56	5.0496		
15202	7601	74.57	240	1725	4.6128	4.6238	0.1779	0.0617	0.8730	0.7400	1362	4.73	5.3021		
15835	7918	77.67	250	1735	4.7993	4.8103	0.2142	0.0980	0.9519	0.8189	1381	4.92	5.5312		
16279	8139	79.85	257	1763	6.5654	6.5764	0.2469	0.1307	0.6901	0.5571			7.0028		

CICLO 7

Tabla 6.5 Ensayo de Cortante Directo Muro MC-2#4/40

Especimen	MC-2#4/40																
Fecha	12/02/2019																
Hora	11:00:00 a. m.																
Longitud	800 mm																
Celda	84.353																
Mod. Elástico	55531 MPa																
Carga (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	δ1 H/2 (mm)	Δ1 H/2 (mm)	δ2 Abajo (mm)	Δ2 Abajo (mm)	δ3 Marco (mm)	Δ3 Marco (mm)	δ4 Diagonal Frontal (mm)	Δ4 Diagonal Frontal (mm)	δ5 Diagonal Posterior (mm)	Δ5 Diagonal Posterior (mm)	δ6 Mecánico H/2 (x10 <sup>-2</sup> mm)	Δ6 Mecánico H/2 (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
1940	970	9.52	23	-0.0865	0.0000	0.0660	0.0000	0.1579	0.0000	-0.0042	0.0000	0.0000	0.0000	1952	0.00	0.0000	9.52
2446	1223	12.00	29	-0.0769	0.0096	0.0857	0.0197	0.2276	0.0689	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1952	0.00	0.0689	12.00
4386	2193	21.52	52	-0.0961	-0.0096	0.2119	0.1459	0.6317	0.4738	-0.0042	0.0000	0.0000	0.0000	1952	0.00	0.4738	21.52
4808	2404	23.58	57	-0.0769	0.0096	0.2267	0.1607	0.6762	0.5183	0.0000	0.0042	-0.0036	-0.0036	1952	0.00	0.5183	23.58
5314	2657	26.07	63	-0.1106	-0.0241	0.2602	0.1942	0.7856	0.6277	0.0000	0.0042	-0.0036	-0.0036	1952	0.00	0.6277	26.07
5820	2910	28.55	69	0.0144	0.1009	0.2996	0.2336	0.9030	0.7451	0.0083	0.0125	0.0000	0.0000	1952	0.00	0.7451	28.55
6326	3163	31.03	75	0.0721	0.1586	0.3006	0.2346	0.9111	0.7532	0.0000	0.0042	-0.0036	-0.0036	1952	0.00	0.7532	31.03
5820	2910	28.55	69	0.0673	0.1538	0.3016	0.2356	0.9151	0.7572	0.0000	0.0042	0.0073	0.0073	1952	0.00	0.7572	28.55
5314	2657	26.07	63	0.0817	0.1682	0.2858	0.2198	0.8989	0.7410	0.0000	0.0042	0.0000	0.0000	1952	0.00	0.7410	26.07
3374	1687	16.55	40	0.0721	0.1586	0.2306	0.1646	0.6519	0.4940	0.0000	0.0042	0.0073	0.0073	1952	0.00	0.4940	16.55
2446	1223	12.00	29	0.0336	0.1201	0.2030	0.1370	0.5628	0.4049	-0.0042	0.0000	0.0036	0.0036	1952	0.00	0.4049	12.00
1940	970	9.52	23	0.0577	0.1442	0.1734	0.1074	0.4576	0.2997	0.0042	0.0084	0.0109	0.0109	1952	0.00	0.2997	9.52
1434	717	7.03	17	0.0481	0.1346	0.1606	0.0946	0.4211	0.2632	0.0042	0.0084	0.0036	0.0036	1952	0.00	0.2632	7.03
928	464	4.55	11	0.0192	0.1057	0.1163	0.0503	0.2713	0.1134	-0.0042	0.0000	0.0000	0.0000	1952	0.00	0.1134	4.55
1434	717	7.03	17	0.0481	0.1346	0.1606	0.0946	0.4211	0.2632	-0.0042	0.0000	0.0036	0.0036	1952	0.00	0.2632	7.03
1940	970	9.52	23	0.0385	0.1250	0.1468	0.0808	0.2996	0.1417	0.0042	0.0084	0.0000	0.0000	1952	0.00	0.1417	9.52
2446	1223	12.00	29	0.1634	0.2499	0.1656	0.0996	0.3644	0.2065	0.0042	0.0084	0.0000	0.0000	1952	0.00	0.2065	12.00
2868	1434	14.07	34	0.8604	0.9469	0.1853	0.1193	0.4414	0.2835	0.0042	0.0084	-0.0109	-0.0109	1952	0.00	0.2835	14.07
3374	1687	16.55	40	0.8748	0.9613	0.2060	0.1400	0.4981	0.3402	0.0000	0.0042	0.0000	0.0000	1961	0.09	0.3402	16.55
3880	1940	19.03	46	0.8700	0.9565	0.2247	0.1587	0.5669	0.4090	0.0000	0.0042	-0.0036	-0.0036	1961	0.09	0.4090	19.03
4386	2193	21.52	52	0.8844	0.9709	0.2444	0.1784	0.6398	0.4819	0.0000	0.0042	0.0000	0.0000	1962	0.10	0.4819	21.52
5314	2657	26.07	63	0.9037	0.9902	0.2671	0.2011	0.7208	0.5629	0.0000	0.0042	0.0036	0.0036	1963	0.11	0.5629	26.07
5820	2910	28.55	69	0.9373	1.0238	0.2937	0.2277	0.8179	0.6600	0.0000	0.0042	0.0000	0.0000	1966.5	0.15	0.6600	28.55
6326	3163	31.03	75	0.9614	1.0479	0.3104	0.2444	0.8706	0.7127	0.0042	0.0084	0.0000	0.0000	1970	0.18	0.7127	31.03
6748	3374	33.10	80	0.9806	1.0671	0.3242	0.2582	0.9151	0.7572	0.0042	0.0084	0.0000	0.0000	1971	0.19	0.7572	33.10
7254	3627	35.58	86	0.9950	1.0815	0.3489	0.2829	0.9921	0.8342	0.0083	0.0125	0.0000	0.0000	1972	0.20	0.8342	35.58
7760	3880	38.07	92	1.0286	1.1151	0.3784	0.3124	1.0609	0.9030	0.0000	0.0042	0.0000	0.0000	1973	0.21	0.9030	38.07
8182	4091	40.13	97	1.0719	1.1584	0.4070	0.3410	1.1459	0.9880	0.0000	0.0042	0.0036	0.0036	1976	0.24	1.1459	40.13
8688	4344	42.62	103	1.1007	1.1872	0.4316	0.3656	1.2148	1.0569	0.0000	0.0042	-0.0036	-0.0036	1985	0.33	1.0569	42.62
9194	4597	45.10	109	1.2017	1.2882	0.4652	0.3992	1.3322	1.1743	0.0042	0.0084	-0.0036	-0.0036	1992	0.40	1.1743	45.10
9701	4850	47.58	115	1.2209	1.3074	0.4730	0.4070	1.3484	1.1905	0.0042	0.0084	-0.0036	-0.0036	1994	0.42	1.1905	47.58
10122	5061	49.65	120	1.2930	1.3795	0.4927	0.4267	1.4294	1.2715	0.0042	0.0084	-0.0036	-0.0036	1999	0.47	1.2715	49.65
10628	5314	52.13	126	1.3603	1.4468	0.5006	0.4346	1.4820	1.3241	0.0000	0.0042	-0.0036	-0.0036	2009	0.57	1.3241	52.13
11135	5567	54.62	132	1.4420	1.5285	0.5194	0.4534	1.5370	1.3970	-0.0208	-0.0166	0.0000	0.0000	2020	0.68	1.3970	54.62
11641	5820	57.10	138	1.5093	1.5958	0.5410	0.4750	1.5954	1.4375	-0.0208	-0.0166	0.0000	0.0000	2025	0.73	1.4375	57.10
12062	6031	59.17	143	1.5958	1.6823	0.5548	0.4888	1.6602	1.5023	-0.0291	-0.0249	0.0036	0.0036	2032	0.80	1.5023	59.17
12569	6284	61.65	149	1.6728	1.7593	0.5765	0.5105	1.7088	1.5509	-0.0333	-0.0291	0.0000	0.0000	2040	0.88	1.5509	61.65

CICLO 1

CICLO 2

Carga (kg)	Coortante (kg)	Coortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	δ1 H/2 (mm)	δ1 H/2 (mm)	δ2 Abajo (mm)	δ2 Abajo (mm)	Δ2 Marco (mm)	δ3 Marco (mm)	Δ3 Marco (mm)	84 Diagonal Frontal (mm)	Δ4 Diagonal Frontal (mm)	85 Diagonal Posterior (mm)	Δ5 Diagonal posterior (mm)	66 Mecánico H/2 (x10 <sup>-2</sup> )	Δ6 Mecánico H/2 (mm)	Δ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
CICLO 2																				
11641	5820	57.10	138	427	1.7449	1.8314	0.5499	0.4839	1.5347	1.3768	1.3768	-0.0374	-0.0332	0.0000	0.0000	2040	0.88	2.2568		
8688	4344	42.62	103	446	1.7545	1.8410	0.4977	0.4317	1.3727	1.2148	1.2148	-0.0333	-0.0291	-0.0036	-0.0036	2040	0.88	2.0948		
7254	3627	35.38	86	465	1.7400	1.8265	0.4701	0.4041	1.2553	1.0974	1.0974	-0.0333	-0.0291	0.0036	0.0036	2040	0.88	1.9774		
6326	3163	31.03	75	472	1.7400	1.8265	0.4454	0.3794	1.1581	1.0002	1.0002	-0.0291	-0.0249	-0.0036	-0.0036	2040	0.88	1.8802		
5820	2910	28.55	69	476	1.7400	1.8265	0.4326	0.3666	1.1054	0.9475	0.9475	-0.0416	-0.0374	0.0000	0.0000	2040	0.88	1.8275		
5314	2657	26.03	63	482	1.7352	1.8217	0.4159	0.3499	1.0407	0.8828	0.8828	-0.0416	-0.0374	0.0036	0.0036	2040	0.88	1.7628		
3880	1940	19.03	46	493	1.7256	1.8121	0.3883	0.3223	0.9192	0.7613	0.7613	-0.0291	-0.0249	0.0000	0.0000	2040	0.88	1.6413		
3374	1687	16.55	40	502	1.7208	1.8073	0.3646	0.2986	0.8301	0.6722	0.6722	-0.0374	-0.0332	0.0036	0.0036	2040	0.88	1.5522		
2868	1434	14.07	34	509	1.7112	1.7977	0.3469	0.2809	0.7532	0.5953	0.5953	-0.0333	-0.0291	0.0036	0.0036	2040	0.88	1.4753		
2446	1223	12.00	29	514	1.7064	1.7929	0.3262	0.2602	0.6681	0.5102	0.5102	-0.0333	-0.0291	0.0000	0.0000	2040	0.88	1.3902		
1940	970	9.52	23	524	1.6920	1.7785	0.2947	0.2287	0.5305	0.3726	0.3726	-0.0374	-0.0332	0.0036	0.0036	2040	0.88	1.2526		
1434	717	7.03	17	533	1.6679	1.7544	0.2710	0.2050	0.4292	0.2713	0.2713	-0.0249	-0.0207	0.0036	0.0036	2038	0.86	1.1313		
928	464	4.55	11	555	1.6055	1.6920	0.2276	0.1616	0.2753	0.1174	0.1174	-0.0333	-0.0291	0.0036	0.0036	2035	0.83	0.9474		
1940	970	9.52	23	565	1.5958	1.6823	0.2474	0.1814	0.3199	0.1620	0.1620	-0.0374	-0.0332	-0.0036	-0.0036	2035	0.83	0.9920		
2868	1434	14.07	34	571	1.6007	1.6872	0.2848	0.2188	0.4292	0.2713	0.2713	-0.0291	-0.0249	0.0036	0.0036	2035	0.83	1.1013		
3880	1940	19.03	46	584	1.6103	1.6968	0.3213	0.2553	0.5385	0.3806	0.3806	-0.0457	-0.0415	-0.0073	-0.0073	2035	0.83	1.2106		
4808	2404	23.58	57	596	1.6103	1.6968	0.3804	0.3144	0.6722	0.5143	0.5143	-0.0416	-0.0374	0.0036	0.0036	2035	0.83	1.3443		
5820	2910	28.55	69	604	1.6151	1.7016	0.4188	0.3528	0.7775	0.6196	0.6196	-0.0333	-0.0291	-0.0036	-0.0036	2035	0.83	1.4496		
6748	3374	33.10	80	610	1.6247	1.7112	0.4612	0.3952	0.9070	0.7491	0.7491	-0.0416	-0.0374	0.0000	0.0000	2035	0.83	1.5791		
7760	3880	38.07	92	614	1.6439	1.7304	0.4898	0.4238	0.9961	0.8382	0.8382	-0.0457	-0.0415	0.0036	0.0036	2036	0.84	1.6782		
8688	4344	42.62	103	621	1.6756	1.7641	0.5223	0.4563	1.0771	0.9192	0.9192	-0.0374	-0.0332	0.0036	0.0036	2043	0.91	1.7892		
9701	4850	47.58	115	629	1.7256	1.8121	0.5558	0.4898	1.1824	1.0245	1.0245	-0.0374	-0.0332	0.0036	0.0036	2043	0.91	1.9345		
10628	5314	52.13	126	636	1.7641	1.8506	0.5814	0.5154	1.2836	1.1257	1.1257	-0.0291	-0.0249	-0.0036	-0.0036	2048	0.96	2.0857		
11641	5820	57.10	138	644	1.7833	1.8698	0.6179	0.5519	1.3605	1.2026	1.2026	-0.0374	-0.0332	0.0000	0.0000	2053	1.01	2.2126		
12569	6284	61.65	149	654	1.9564	2.0429	0.6583	0.5923	1.4496	1.2917	1.2917	-0.0374	-0.0332	0.0000	0.0000	2069	1.17	2.4617		
13581	6790	66.61	161	666	2.1871	2.2736	0.6977	0.6317	1.4982	1.3403	1.3403	-0.0333	-0.0291	0.0000	0.0000	2091	1.39	2.7303		
14509	7254	71.17	172	683	2.4322	2.5187	0.7440	0.6780	1.5914	1.4335	1.4335	-0.0374	-0.0332	-0.0036	-0.0036	2215	2.63	4.0635		
15437	7718	75.72	183	697	2.5860	2.6725	0.7933	0.7273	1.6561	1.4982	1.4982	-0.0374	-0.0332	-0.0073	-0.0073	2225	2.73	4.2282		
16449	8224	80.68	195	709	2.8168	2.9033	0.8515	0.7855	1.7533	1.5954	1.5954	-0.0416	-0.0374	0.0000	0.0000	2260	3.08	4.6754		
17377	8688	85.23	206	727	3.2542	3.3407	0.9394	0.9274	1.9153	1.7574	1.7574	-0.0374	-0.0332	-0.0036	-0.0036	2300	3.48	5.2374		
18389	9194	90.20	218	745	3.6772	3.7637	1.1589	1.0929	1.9801	1.8222	1.8222	-0.0499	-0.0457	-0.0036	-0.0036	2342	3.90	5.7222		
19317	9658	94.75	229	754	3.9127	3.9992	1.2654	1.1994	2.0044	1.8465	1.8465	-0.0540	-0.0498	-0.0073	-0.0073	2365	4.13	5.9765		
18389	9194	90.20	218	764	4.1050	4.1915	1.3462	1.2802	1.9274	1.7695	1.7695	-0.0582	-0.0540	-0.0036	-0.0036	2373	4.21	5.9795		
17377	8688	85.23	206	774	4.1050	4.1915	1.3403	1.2743	1.9031	1.7452	1.7452	-0.0540	-0.0498	-0.0036	-0.0036	2384	4.32	6.0652		
16449	8224	80.68	195	779	4.1050	4.1915	1.3324	1.2664	1.8586	1.7007	1.7007	-0.0582	-0.0540	0.0000	0.0000	2385	4.33	6.0307		
15437	7718	75.72	183	784	4.1242	4.2107	1.3176	1.2516	1.8100	1.6521	1.6521	-0.0540	-0.0498	-0.0036	-0.0036	2387	4.35	6.0021		
14509	7254	71.17	172	788	4.1338	4.2203	1.2969	1.2309	1.7452	1.5873	1.5873	-0.0540	-0.0498	-0.0073	-0.0073	2387	4.35	5.9373		
13581	6790	66.61	161	790	4.1290	4.2155	1.2871	1.2211	1.7128	1.5549	1.5549	-0.0540	-0.0498	-0.0036	-0.0036	2387	4.35	5.9049		
12569	6284	61.65	149	794	4.1242	4.2107	1.2723	1.2063	1.6318	1.4739	1.4739	-0.0540	-0.0498	-0.0036	-0.0036	2387	4.35	5.8239		
11641	5820	57.10	138	801	4.1338	4.2203	1.2407	1.1747	1.5104	1.3525	1.3525	-0.0540	-0.0498	0.0000	0.0000	2387	4.35	5.7025		
10628	5314	52.13	126	802	4.1338	4.2203	1.2348	1.1688	1.4982	1.3403	1.3403	-0.0499	-0.0457	0.0036	0.0036	2387	4.35	5.6903		
9701	4850	47.58	115	808	4.1002	4.1867	1.2062	1.1402	1.4010	1.2431	1.2431	-0.0540	-0.0498	-0.0036	-0.0036	2387	4.35	5.5931		
8688	4344	42.62	103	814	4.0954	4.1819	1.1826	1.1166	1.3241	1.1662	1.1662	-0.0582	-0.0540	-0.0036	-0.0036	2387	4.35	5.5162		
7760	3880	38.07	92	821	4.0906	4.1771	1.1520	1.0860	1.2188	1.0609	1.0609	-0.0582	-0.0540	0.0000	0.0000	2387	4.35	5.4109		
6748	3374	33.10	80	829	4.0906	4.1771	1.1244	1.0584	1.1257	0.9678	0.9678	-0.0499	-0.0457	0.0000	0.0000	2387	4.35	5.3178		
5820	2910	28.55	69	840	4.0858	4.1723	1.0919	1.0259	1.0164	0.8585	0.8585	-0.0457	-0.0415	-0.0073	-0.0073	2387	4.35	5.2085		
4808	2404	23.58	57	854	4.0713	4.1578	1.0604	0.9944	0.9273	0.7694	0.7694	-0.0582	-0.0540	0.0000	0.0000	2385	4.33	5.0994		
3880	1940	19.03	46	865	4.0425	4.1290	1.0259	0.9599	0.8058	0.6479	0.6479	-0.0582	-0.0540	0.0000	0.0000	2383	4.31	4.9579		
2868	1434	14.07	34	875	4.0185	4.1050	0.9944	0.9284	0.6843	0.5264	0.5264	-0.0540	-0.0498	0.0000	0.0000	2380	4.28	4.8064		
1940	970	9.52	23	888	3.9512	4.0377	0.9599	0.8939	0.5547	0.3968	0.3968	-0.0540	-0.0498	-0.0036	-0.0036	2373	4.21	4.6068		

CICLO 3

Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\delta 4$ Diagonal Frontal (mm)	$\delta 4$ Diagonal Frontal (mm)	$\delta 5$ Diagonal Posterior (mm)	$\delta 5$ Diagonal Posterior (mm)	$\delta 6$ Mecánico H/2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\delta 6$ Mecánico H/2 (mm)	$\Delta$ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
928	464	4.55	11	908	3.8646	3.9511	0.9136	0.8476	0.3563	0.1984	-0.0457	-0.0415	0.0000	0.0000	2.364	4.12	4.3184		
1940	970	9.52	23	936	3.8118	3.8983	0.9264	0.8604	0.3442	0.1863	-0.0540	-0.0498	0.0000	0.0000	2.360	4.08	4.2663		
2868	1434	14.07	34	948	3.8118	3.8983	0.9461	0.8801	0.4211	0.2632	-0.0540	-0.0498	0.0000	0.0000	2.360	4.08	4.3432		
3880	1940	19.03	46	959	3.8118	3.8983	0.9786	0.9126	0.5466	0.3887	-0.0499	-0.0457	0.0000	0.0000	2.360	4.08	4.4687		
4808	2404	23.58	57	969	3.8166	3.9031	1.0141	0.9481	0.6600	0.5021	-0.0582	-0.0540	0.0000	0.0000	2.360	4.08	4.5821		
5820	2910	28.55	69	975	3.8166	3.9031	1.0496	0.9836	0.7451	0.5872	-0.0540	-0.0498	0.0000	0.0000	2.360	4.08	4.6672		
6748	3374	33.10	80	982	3.8262	3.9127	1.0909	1.0249	0.8382	0.6803	-0.0499	-0.0457	0.0000	0.0000	2.360	4.08	4.7603		
7760	3880	38.07	92	988	3.8310	3.9175	1.1274	1.0614	0.9354	0.7775	-0.0540	-0.0498	-0.0036	-0.0036	2.360	4.08	4.8575		
8688	4344	42.62	103	995	3.8262	3.9127	1.1570	1.0910	1.0164	0.8585	-0.0457	-0.0415	0.0036	0.0036	2.360	4.08	4.9385		
9701	4850	47.58	115	1003	3.8262	3.9127	1.1915	1.1255	1.1095	0.9516	-0.0499	-0.0457	0.0000	0.0000	2.360	4.08	5.0316		
10628	5314	52.13	126	1012	3.8454	3.9319	1.2319	1.1659	1.2391	1.0812	-0.0499	-0.0457	0.0000	0.0000	2.360	4.08	5.1612		
11641	5820	57.10	138	1018	3.8502	3.9367	1.2624	1.1964	1.3241	1.1662	-0.0582	-0.0540	-0.0036	-0.0036	2.360	4.08	5.2462		
12569	6284	61.65	149	1024	3.8454	3.9319	1.2811	1.2151	1.3848	1.2269	-0.0582	-0.0540	0.0000	0.0000	2.360	4.08	5.3069		
13581	6790	66.61	161	1031	3.8454	3.9319	1.3038	1.2378	1.4658	1.3079	-0.0540	-0.0498	-0.0036	-0.0036	2.360	4.08	5.3879		
14509	7254	71.17	172	1038	3.8502	3.9367	1.3245	1.2585	1.5306	1.3727	-0.0499	-0.0457	-0.0036	-0.0036	2.360	4.08	5.4527		
15437	7718	75.72	183	1046	3.9031	3.9896	1.3551	1.2891	1.6318	1.4739	-0.0499	-0.0457	-0.0036	-0.0036	2.365	4.13	5.6039		
16449	8224	80.68	195	1056	3.9704	4.0569	1.3945	1.3285	1.7209	1.5630	-0.0499	-0.0457	-0.0036	-0.0036	2.372	4.20	5.7630		
17377	8688	85.23	206	1064	4.0809	4.1674	1.4546	1.3886	1.7898	1.6319	-0.0582	-0.0540	-0.0036	-0.0036	2.390	4.38	6.0119		
18389	9194	90.20	218	1077	4.3838	4.4703	1.6970	1.6310	1.8060	1.6481	-0.0540	-0.0498	-0.0036	-0.0036	2.414	4.62	6.2681		
19317	9658	94.75	229	1088	4.7010	4.7875	1.8981	1.8321	1.8303	1.6724	-0.0540	-0.0498	0.0000	0.0000	2.455	5.03	6.7024		
20329	10165	99.71	241	1096	5.0038	5.0903	2.1513	2.0853	1.8262	1.6683	-0.0499	-0.0457	0.0000	0.0000	2.520	5.68	7.3483		
21088	10544	103.44	250	1100	5.2634	5.3499	2.3041	2.2381	1.8019	1.6440	-0.0540	-0.0498	-0.0073	-0.0073	2.580	6.28	7.9240		

CICLO 4

Tabla 6.6 Ensayo de Cortante Directo Muro MC-2#5/40

Especimen	MC-2#5/40														
Fecha	21/03/2019														
Hora	01:15:00 p. m.														
Longitud	800 mm														
Celda	84.353														
Mod. Elástico	54393 MPa														
	CICLO 1														
Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 6$ Mecánico H/2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 6$ Mecánico H/2 (mm)	$\Delta$ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
253	127	1.24	3	27	0.0166	0.0000	-0.0050	0.0000	0.0497	0.0000	995	0.00	0.0000	0.0000	1.24
422	211	2.07	5	30	0.0331	0.0166	0.0050	0.0099	0.0662	0.0166	997	0.02	0.0331	0.0331	2.07
844	422	4.14	10	37	0.0745	0.0580	0.0132	0.0182	0.1325	0.0828	1003	0.08	0.1408	0.1408	4.14
1265	633	6.21	15	43	0.1159	0.0994	0.0248	0.0298	0.1871	0.1375	1007	0.12	0.2368	0.2368	6.21
1687	844	8.28	20	59	0.1457	0.1292	0.0414	0.0464	0.2236	0.1739	1012	0.17	0.3031	0.3031	8.28
2109	1054	10.34	25	72	0.1822	0.1656	0.0497	0.0547	0.2617	0.2120	1016	0.21	0.3776	0.3776	10.34
2531	1265	12.41	30	80	0.2319	0.2153	0.0712	0.0762	0.3031	0.2534	1021	0.26	0.4687	0.4687	12.41
2952	1476	14.48	35	90	0.2898	0.2733	0.0911	0.0961	0.3561	0.3064	1029	0.34	0.5797	0.5797	14.48
3374	1687	16.55	40	97	0.3362	0.3196	0.1076	0.1126	0.3975	0.3478	1034	0.39	0.6674	0.6674	16.55
3796	1898	18.62	45	110	0.4024	0.3859	0.1292	0.1341	0.4223	0.3726	1044	0.49	0.7585	0.7585	18.62
4218	2109	20.69	50	123	0.4687	0.4521	0.1540	0.1590	0.4438	0.3942	1052	0.57	0.8463	0.8463	20.69
4639	2320	22.76	55	131	0.5432	0.5267	0.1822	0.1871	0.4935	0.4438	1061	0.66	0.9705	0.9705	22.76
5061	2531	24.83	60	142	0.6045	0.5879	0.2070	0.2120	0.5598	0.5101	1070	0.75	1.0980	1.0980	24.83
5483	2741	26.89	65	150	0.6591	0.6426	0.2285	0.2335	0.6211	0.5714	1077	0.82	1.2140	1.2140	26.89
5905	2952	28.96	70	162	0.7370	0.7204	0.2534	0.2584	0.6956	0.6459	1086	0.91	1.3663	1.3663	28.96
5483	2741	26.89	65	177	0.7453	0.7287	0.2650	0.2700	0.7006	0.6509	1083	0.88	1.3796	1.3796	31.03
5061	2531	24.83	60	184	0.7171	0.7006	0.2567	0.2617	0.7088	0.6591	1080	0.85	1.3597	1.3597	33.10
4639	2320	22.76	55	191	0.6790	0.6625	0.2451	0.2501	0.6757	0.6260	1075	0.80	1.2885	1.2885	35.17
4218	2109	20.69	50	194	0.6625	0.6459	0.2368	0.2418	0.6260	0.5763	1070	0.75	1.2222	1.2222	37.24
3796	1898	18.62	45	199	0.6177	0.6012	0.2203	0.2252	0.5763	0.5267	1068	0.73	1.1278	1.1278	39.31
3374	1687	16.55	40	202	0.5962	0.5797	0.2037	0.2087	0.5465	0.4968	1063	0.68	1.0765	1.0765	41.38
2952	1476	14.48	35	206	0.5763	0.5598	0.1987	0.2037	0.5217	0.4720	1057	0.62	1.0318	1.0318	43.44
2531	1265	12.41	30	213	0.5217	0.5051	0.1789	0.1838	0.4637	0.4140	1053	0.58	0.9192	0.9192	45.51
2109	1054	10.34	25	219	0.4886	0.4720	0.1573	0.1623	0.4058	0.3561	1050	0.55	0.8281	0.8281	47.58
1687	844	8.28	20	227	0.4604	0.4438	0.1623	0.1673	0.3859	0.3362	1045	0.50	0.7800	0.7800	49.65
1265	633	6.21	15	239	0.4140	0.3975	0.1457	0.1507	0.3196	0.2700	1040	0.45	0.6674	0.6674	51.72
844	422	4.14	10	249	0.3776	0.3610	0.1159	0.1209	0.2700	0.2203	1035	0.40	0.5813	0.5813	53.79
1265	633	6.21	15	263	0.3644	0.3478	0.1209	0.1259	0.2700	0.2203	1035	0.40	0.5681	0.5681	55.86
1687	844	8.28	20	270	0.3776	0.3610	0.1375	0.1424	0.3114	0.2617	1039	0.44	0.6227	0.6227	57.93
2109	1054	10.34	25	279	0.4190	0.4024	0.1491	0.1540	0.3644	0.3147	1043	0.48	0.7171	0.7171	59.99
2531	1265	12.41	30	286	0.4389	0.4223	0.1573	0.1623	0.4058	0.3561	1048	0.53	0.7784	0.7784	62.06
	CICLO 2														

Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 6$ Mecánico H/2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 6$ Mecánico H/2 (mm)	$\Delta$ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
2952	1476	14.48	35	292	0.4853	0.4687	0.1706	0.1756	0.4438	0.3942	1054	0.59	0.8629	2.9413	64.13
3374	1687	16.55	40	298	0.5267	0.5101	0.1905	0.1954	0.4803	0.4306	1058	0.63	0.9407	3.0192	66.20
3796	1898	18.62	45	304	0.5598	0.5432	0.1954	0.2004	0.5018	0.4521	1063	0.68	0.9953	3.0987	68.27
4218	2109	20.69	50	310	0.5962	0.5797	0.2203	0.2252	0.5432	0.4935	1068	0.73	1.0732	3.1798	70.34
4639	2320	22.76	55	316	0.6376	0.6211	0.2319	0.2368	0.5797	0.5300	1073	0.78	1.1510	3.2676	72.41
5061	2531	24.83	60	322	0.6873	0.6707	0.2451	0.2501	0.6426	0.5929	1078	0.83	1.2636	3.4166	74.48
5483	2741	26.89	65	327	0.7088	0.6923	0.2567	0.2617	0.6674	0.6177	1083	0.88	1.3100	3.6452	78.61
5905	2952	28.96	70	335	0.7585	0.7420	0.2733	0.2782	0.7006	0.6509	1087	0.92	1.3928	3.7942	82.75
6326	3163	31.03	75	341	0.7916	0.7751	0.2948	0.2998	0.7420	0.6923	1093	0.98	1.4673	8.7362	111.30
6748	3374	33.10	80	350	0.8612	0.8446	0.3196	0.3246	0.7867	0.7370	1102	1.07	1.5816		
7170	3585	35.17	85	358	0.9274	0.9109	0.3478	0.3528	0.8695	0.8198	1110	1.15	1.7307		
7592	3796	37.24	90	366	0.9854	0.9688	0.3809	0.3859	0.8910	0.8413	1118	1.23	1.8102		
8014	4007	39.31	95	374	1.0351	1.0185	0.4058	0.4107	0.9324	0.8827	1126	1.31	1.9013		
8435	4218	41.38	100	384	1.1063	1.0897	0.4389	0.4438	0.9821	0.9324	1134	1.39	2.0222		
8857	4429	43.44	105	390	1.1593	1.1427	0.4604	0.4654	1.0152	0.9655	1139	1.44	2.1083		
9279	4639	45.51	110	397	1.2057	1.1891	0.4853	0.4902	1.0268	0.9771	1149	1.54	2.1662		
9701	4850	47.58	115	407	1.2802	1.2636	0.5217	0.5267	1.0517	1.0020	1156	1.61	2.2656		
10122	5061	49.65	120	415	1.3382	1.3216	0.5515	0.5565	1.0980	1.0483	1175	1.80	2.3700		
10544	5272	51.72	125	424	1.3994	1.3829	0.5797	0.5846	1.1394	1.0897	1177	1.82	2.4726		
10966	5483	53.79	130	432	1.4657	1.4491	0.6260	0.6310	1.1759	1.1262	1180	1.85	2.5753		
11388	5694	55.86	135	439	1.5203	1.5038	0.6509	0.6558	1.2222	1.1726	1188	1.93	2.6763		
11809	5905	57.93	140	452	1.5651	1.5485	0.6790	0.6840	1.2222	1.1726	1197	2.02	2.7211		
11388	5694	55.86	135	477	1.6114	1.5949	0.6956	0.7006	1.2802	1.2305	1197	2.02	2.8254		
10966	5483	53.79	130	482	1.5949	1.5783	0.7039	0.7088	1.2471	1.1974	1194	1.99	2.7757		
10544	5272	51.72	125	486	1.5651	1.5485	0.6873	0.6923	1.1974	1.1477	1191	1.96	2.6962		
10122	5061	49.65	120	488	1.5568	1.5402	0.6840	0.6890	1.1891	1.1394	1191	1.96	2.6797		
9701	4850	47.58	115	492	1.5485	1.5319	0.6873	0.6923	1.1841	1.1345	1184	1.89	2.6664		
9279	4639	45.51	110	509	1.3547	1.3382	0.6459	0.6509	1.0815	1.0318	1177	1.82	2.3700		
8857	4429	43.44	105	514	1.3166	1.3001	0.6211	0.6260	1.0318	0.9821	1174	1.79	2.2822		
8435	4218	41.38	100	519	1.3133	1.2968	0.6211	0.6260	1.0318	0.9821	1171	1.76	2.2789		
8014	4007	39.31	95	530	1.2835	1.2670	0.6045	0.6095	0.9854	0.9357	1168	1.73	2.2027		
7592	3796	37.24	90	532	1.2802	1.2636	0.6095	0.6144	0.9904	0.9407	1165	1.70	2.2043		
7170	3585	35.17	85	541	1.2636	1.2471	0.5929	0.5979	0.9771	0.9274	1162	1.67	2.1745		
6748	3374	33.10	80	550	1.2222	1.2057	0.5797	0.5846	0.8943	0.8446	1159	1.64	2.0503		
6326	3163	31.03	75	555	1.1759	1.1593	0.5714	0.5763	0.8496	0.7999	1153	1.58	1.9592		
5905	2952	28.96	70	560	1.1312	1.1146	0.5548	0.5598	0.8082	0.7585	1148	1.53	1.8731		
5483	2741	26.89	65	568	1.0848	1.0682	0.5300	0.5349	0.7535	0.7039	1142	1.47	1.7721		
5061	2531	24.83	60	574	1.0815	1.0649	0.5267	0.5316	0.7585	0.7088	1137	1.42	1.7737		

CICLO 2



Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 6$ Mecánico H/2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 6$ Mecánico H/2 (mm)	$\Delta$ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
CICLO 2															
4639	2320	22.76	55	583	1.0185	1.0020	0.5018	0.5068	0.6790	0.6293	1.132	1.37	1.6313		
4218	2109	20.69	50	589	1.0152	0.9987	0.4968	0.5018	0.6757	0.6260	1.128	1.33	1.6247		
3796	1898	18.62	45	598	0.9854	0.9688	0.4853	0.4902	0.6459	0.5962	1.124	1.29	1.5651		
3374	1687	16.55	40	609	0.9274	0.9109	0.4637	0.4687	0.5879	0.5382	1.119	1.24	1.4491		
2952	1476	14.48	35	622	0.8778	0.8612	0.4472	0.4521	0.5432	0.4935	1.114	1.19	1.3547		
2531	1265	12.41	30	631	0.8330	0.8165	0.4389	0.4438	0.4853	0.4356	1.105	1.10	1.2520		
2109	1054	10.34	25	639	0.7950	0.7784	0.4140	0.4190	0.4356	0.3859	1.100	1.05	1.1643		
1687	844	8.28	20	647	0.7370	0.7204	0.3942	0.3991	0.3776	0.3279	1.091	0.96	1.0483		
1265	633	6.21	15	656	0.6790	0.6625	0.3859	0.3909	0.3229	0.2733	1.083	0.88	0.9357		
844	422	4.14	10	670	0.6095	0.5929	0.3528	0.3577	0.2567	0.2070	1.074	0.79	0.7999		
1265	633	6.21	15	681	0.5929	0.5763	0.3528	0.3577	0.2567	0.2070	1.075	0.80	0.7834		
1687	844	8.28	20	690	0.6045	0.5879	0.3644	0.3693	0.3114	0.2617	1.078	0.83	0.8496		
2109	1054	10.34	25	698	0.6376	0.6211	0.3693	0.3743	0.3610	0.3114	1.083	0.88	0.9324		
2531	1265	12.41	30	703	0.6840	0.6674	0.3892	0.3942	0.4223	0.3726	1.090	0.95	1.0401		
2952	1476	14.48	35	710	0.7254	0.7088	0.4058	0.4107	0.4438	0.3942	1.094	0.99	1.1030		
3374	1687	16.55	40	715	0.7502	0.7337	0.4223	0.4273	0.4687	0.4190	1.100	1.05	1.1527		
3796	1898	18.62	45	719	0.8032	0.7867	0.4356	0.4405	0.5018	0.4521	1.106	1.11	1.2388		
4218	2109	20.69	50	725	0.8364	0.8198	0.4472	0.4521	0.5382	0.4886	1.111	1.16	1.3084		
4639	2320	22.76	55	730	0.8993	0.8827	0.4687	0.4737	0.5929	0.5432	1.117	1.22	1.4259		
5061	2531	24.83	60	737	0.9440	0.9274	0.4803	0.4853	0.6376	0.5879	1.124	1.29	1.5154		
5483	2741	26.89	65	747	0.9904	0.9738	0.4968	0.5018	0.6840	0.6343	1.129	1.34	1.6081		
5905	2952	28.96	70	753	1.0268	1.0103	0.5184	0.5233	0.7254	0.6757	1.135	1.40	1.6860		
6326	3163	31.03	75	756	1.0649	1.0483	0.5300	0.5349	0.7585	0.7088	1.140	1.45	1.7572		
6748	3374	33.10	80	762	1.1063	1.0897	0.5432	0.5482	0.7834	0.7337	1.145	1.50	1.8234		
7170	3585	35.17	85	767	1.1427	1.1262	0.5598	0.5647	0.8115	0.7618	1.150	1.55	1.8880		
7592	3796	37.24	90	772	1.1759	1.1593	0.5714	0.5763	0.8662	0.8165	1.154	1.59	1.9758		
8014	4007	39.31	95	778	1.2222	1.2057	0.5846	0.5896	0.9159	0.8662	1.159	1.64	2.0718		
8435	4218	41.38	100	783	1.2636	1.2471	0.5962	0.6012	0.9407	0.8910	1.164	1.69	2.1381		
8857	4429	43.44	105	787	1.2752	1.2587	0.6045	0.6095	0.9771	0.9274	1.167	1.72	2.1861		
9279	4639	45.51	110	793	1.3166	1.3001	0.6177	0.6227	1.0318	0.9821	1.173	1.78	2.2822		
9701	4850	47.58	115	798	1.3464	1.3299	0.6376	0.6426	1.0682	1.0185	1.177	1.82	2.3484		
10122	5061	49.65	120	803	1.3713	1.3547	0.6542	0.6591	1.1096	1.0599	1.180	1.85	2.4147		
10544	5272	51.72	125	809	1.4127	1.3961	0.6625	0.6674	1.1477	1.0980	1.184	1.89	2.4942		
10966	5483	53.79	130	814	1.4491	1.4326	0.6757	0.6807	1.1808	1.1312	1.189	1.94	2.5637		
11388	5694	55.86	135	820	1.4823	1.4657	0.6956	0.7006	1.2222	1.1726	1.194	1.99	2.6382		
11809	5905	57.93	140	823	1.5071	1.4905	0.7039	0.7088	1.2554	1.2057	1.197	2.02	2.6962		
12231	6116	59.99	145	832	1.5402	1.5237	0.7254	0.7304	1.2885	1.2388	1.203	2.08	2.7625		
12653	6326	62.06	150	837	1.5899	1.5733	0.7453	0.7502	1.3249	1.2752	1.208	2.13	2.8486		
CICLO 3															

Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 6$ Mecánico H/2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 6$ Mecánico H/2 (mm)	$\Delta$ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
13075	6537	64.13	155	844	1.6446	1.6280	0.7784	0.7834	1.3630	1.3133	1214	2.19	2.9413		
13496	6748	66.20	160	849	1.6893	1.6727	0.8032	0.8082	1.3961	1.3464	1223	2.28	3.0192		
13918	6959	68.27	165	855	1.7522	1.7356	0.8413	0.8463	1.4127	1.3630	1228	2.33	3.0987		
14340	7170	70.34	170	861	1.7804	1.7638	0.8612	0.8662	1.4657	1.4160	1235	2.40	3.1798		
14762	7381	72.41	175	867	1.8383	1.8218	0.8943	0.8993	1.4955	1.4458	1241	2.46	3.2676		
15184	7592	74.48	180	875	1.9874	1.9708	0.9192	0.9241	1.4955	1.4458	1266	2.71	3.4166		
15605	7803	76.54	185	884	2.2159	2.1994	1.0152	1.0202	1.4458	1.3961	1300	3.05	3.5955		
16027	8014	78.61	190	891	2.2822	2.2656	1.0483	1.0533	1.4458	1.3961	1310	3.15	3.6617		
16449	8224	80.68	195	896	2.3567	2.3401	1.0682	1.0732	1.4574	1.4077	1320	3.25	3.7479		
16871	8435	82.75	200	902	2.4180	2.4014	1.1013	1.1063	1.4823	1.4326	1335	3.40	3.8340		
16449	8224	80.68	195	922	2.4428	2.4263	1.1146	1.1196	1.4789	1.4293	1330	3.35	3.8555		
16027	8014	78.61	190	932	2.4478	2.4312	1.1096	1.1146	1.4789	1.4293	1324	3.29	3.8605		
14762	7381	72.41	175	968	2.4097	2.3931	1.0931	1.0980	1.3630	1.3133	1325	3.30	3.7065		
13918	6959	68.27	165	996	2.3733	2.3567	1.0765	1.0815	1.3216	1.2719	1320	3.25	3.6286		
12653	6326	62.06	150	1010	2.2905	2.2739	1.0434	1.0483	1.2305	1.1808	1310	3.15	3.4547		
11809	5905	57.93	140	1029	2.2408	2.2242	1.0185	1.0235	1.1676	1.1179	1302	3.07	3.3421		
10966	5483	53.79	130	1034	2.1861	2.1696	0.9904	0.9953	1.0980	1.0483	1295	3.00	3.2179		
10122	5061	49.65	120	1040	2.1282	2.1116	0.9655	0.9705	1.0318	0.9821	1286	2.91	3.0937		
9279	4639	45.51	110	1046	2.0785	2.0619	0.9440	0.9490	0.9821	0.9324	1280	2.85	2.9943		
8435	4218	41.38	100	1054	2.0205	2.0039	0.9241	0.9291	0.9159	0.8662	1271	2.76	2.8701		
7592	3796	37.24	90	1070	1.9592	1.9427	0.8910	0.8960	0.8496	0.7999	1255	2.60	2.7426		
6748	3374	33.10	80	1082	1.8549	1.8383	0.8529	0.8579	0.7585	0.7088	1250	2.55	2.5472		
5905	2952	28.96	70	1099	1.7936	1.7770	0.8364	0.8413	0.7039	0.6542	1236	2.41	2.4312		
5061	2531	24.83	60	1108	1.7191	1.7025	0.8082	0.8132	0.6177	0.5681	1230	2.35	2.2706		
4218	2109	20.69	50	1117	1.6313	1.6147	0.7751	0.7800	0.5432	0.4935	1218	2.23	2.1083		
3374	1687	16.55	40	1128	1.5452	1.5286	0.7420	0.7469	0.4521	0.4024	1204	2.09	1.9311		
2531	1265	12.41	30	1140	1.4375	1.4210	0.7121	0.7171	0.3776	0.3279	1190	1.95	1.7489		
1687	844	8.28	20	1152	1.2802	1.2636	0.6591	0.6641	0.2451	0.1954	1170	1.75	1.4591		

CICLO 3

Carga (kg)	Cortante (kg)	Cortante (kN)	Celda	Tiempo (s)	$\delta 1$ H/2 (mm)	$\Delta 1$ H/2 (mm)	$\delta 2$ Abajo (mm)	$\Delta 2$ Abajo (mm)	$\delta 3$ Marco (mm)	$\Delta 3$ Marco (mm)	$\delta 6$ Mecánico H/2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta 6$ Mecánico H/2 (mm)	$\Delta$ Final (mm)	Env. (mm)	P. Env. (kN)
844	422	4.14	10	1162	1.1096	1.0931	0.5962	0.6012	0.1375	0.0878	1145	1.50	1.1808		
1687	844	8.28	20	1181	1.1096	1.0931	0.6177	0.6227	0.2120	0.1623	1148	1.53	1.2554		
2531	1265	12.41	30	1192	1.1808	1.1643	0.6376	0.6426	0.3031	0.2534	1159	1.64	1.4177		
3374	1687	16.55	40	1198	1.2554	1.2388	0.6674	0.6724	0.3693	0.3196	1166	1.71	1.5584		
4218	2109	20.69	50	1204	1.3249	1.3084	0.6956	0.7006	0.4438	0.3942	1179	1.84	1.7025		
5061	2531	24.83	60	1210	1.4293	1.4127	0.7287	0.7337	0.5267	0.4770	1192	1.97	1.8897		
5905	2952	28.96	70	1218	1.5286	1.5121	0.7618	0.7668	0.5962	0.5465	1205	2.10	2.0586		
6748	3374	33.10	80	1223	1.6114	1.5949	0.7950	0.7999	0.6625	0.6128	1218	2.23	2.2076		
7592	3796	37.24	90	1229	1.7058	1.6893	0.8281	0.8330	0.7585	0.7088	1230	2.35	2.3981		
8435	4218	41.38	100	1234	1.7721	1.7555	0.8579	0.8629	0.8248	0.7751	1240	2.45	2.5306		
9279	4639	45.51	110	1240	1.8549	1.8383	0.8827	0.8877	0.8860	0.8364	1250	2.55	2.6747		
10122	5061	49.65	120	1245	1.9211	1.9046	0.9109	0.9159	0.9274	0.8778	1258	2.63	2.7823		
10966	5483	53.79	130	1252	2.0039	1.9874	0.9324	0.9374	1.0152	0.9655	1268	2.73	2.9529		
11809	5905	57.93	140	1257	2.0453	2.0288	0.9573	0.9622	1.0483	0.9987	1276	2.81	3.0274		
12653	6326	62.06	150	1264	2.1116	2.0950	0.9738	0.9788	1.1063	1.0566	1285	2.90	3.1517		
13496	6748	66.20	160	1271	2.1861	2.1696	1.0069	1.0119	1.1726	1.1229	1292	2.97	3.2924		
14340	7170	70.34	170	1277	2.2325	2.2159	1.0318	1.0367	1.2140	1.1643	1301	3.06	3.3802		
15184	7592	74.48	180	1284	2.3236	2.3070	1.0566	1.0616	1.2968	1.2471	1315	3.20	3.5541		
16027	8014	78.61	190	1289	2.3733	2.3567	1.0815	1.0864	1.3382	1.2885	1322	3.27	3.6452		
16871	8435	82.75	200	1296	2.4644	2.4478	1.1063	1.1113	1.3961	1.3464	1333	3.38	3.7942		
17208	8604	84.41	204	1300	2.5223	2.5058	1.1013	1.1063	1.4127	1.3630	1348	3.53	3.8688		
22691	11345	111.30	269	1624	9.2628	9.2463	1.2719	1.2769	-0.4604	-0.5101	2235	12.40	8.7362		

CICLO 4

**BIBLIOGRAFÍA**

- ACI Committee 440. (2015). *Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with FRP bars (ACI 440.1R-15)*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- AIS. (2012). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- ASTM. (2002). *Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages (E519 / E519M-02)*. ASTM International. West Conshohocken, PA. <https://doi.org/10.1021/la904316f>
- ASTM. (2016). *Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars (D7205/D7205M-06)*. ASTM International (Vol. i). West Conshohocken, PA. <https://doi.org/10.1520/D7205>
- Borri, A., Castori, G., & Corradi, M. (2015). Determination of Shear Strength of Masonry Panels Through Different Tests. *International Journal of Architectural Heritage*, 9(8), 913–927. <https://doi.org/10.1080/15583058.2013.804607>
- CSA. (2002). *Design and Construction of Building Components with Fibre-Reinforced Polymers (CAN/CSA S806-02)*. CSA S806-02.
- Hasaballa, M. (2014). *GFRP-Reinforced Concrete Exterior Beam- Column Joints Subjected To Seismic Loading. PhD Thesis*.
- Hays, G. (2010). World Corrosion Organization. Retrieved March 10, 2018, from [http://events.nace.org/euro/corrodia/Fall\\_2010/wco.asp](http://events.nace.org/euro/corrodia/Fall_2010/wco.asp)
- ICONTEC. (2018). NTC 6280. Especificaciones para polímeros reforzados con fibras. Bogotá, Colombia.
- MSJC. (2016). *Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures (TMS 402-16/ACI 530-16/ASCE 5-16)*. (TMS, ACI, & ASCE, Eds.), *Masonry Standards Joint Committee*. E.U. <https://doi.org/10.1002/pc>
- Nanni, A., De Luca, A., & Zadeh, H. (2014). *Reinforced Concrete with FRP Bars*. <https://doi.org/10.1201/b16669>
- Otálora Barros, D. (2017). *Comportamiento Ante Carga Perpendicular al Plano, de Muros de Mampostería en Concreto, Reforzados con Barras de FRP*. *Journal of Personality and Social Psychology*. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Parvin, A., & Raad, J. (2017). Performance Evaluation of Concrete Structures Reinforced by Corrosion Free FRP and SMA Materials. In *SMAR 2017 - Fourth Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures*. Toledo, USA.
- Quintana Ruiz, L. A. (2017). *Comportamiento a flexión pura, de muros de mampostería en arcilla, reforzados con barras de FRP*. Escuela Colombiana de Ingeniería.

---

Yu, P., Silva, P., & Nanni, A. (2017). In-Plane Performance of Unreinforced Concrete Masonry Strengthened with Prestressed GFRP Bars. *Journal of Composites for Construction*, 21(1), 04016064. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cc.1943-5614.0000717](https://doi.org/10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000717)