

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**“ESTUDIO EXPERIMENTAL DE DOS TÉCNICAS DE
INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL APLICADAS EN
MAMPOSTERÍA REFORZADA”**

PRESENTADO POR:

JOSUÉ DAVID AGUIRRE LÓPEZ

DAVID LEONARDO CRUZ BENITEZ

CARLOS REYNALDO QUEZADA HERNÁNDEZ

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO 2017

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR INTERINO :

LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :

ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título :

“ESTUDIO EXPERIMENTAL DE DOS TÉCNICAS DE INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL APLICADAS EN MAMPOSTERÍA REFORZADA”

Presentado por :

JOSUÉ DAVID AGUIRRE LÓPEZ

DAVID LEONARDO CRUZ BENITEZ

CARLOS REYNALDO QUEZADA HERNÁNDEZ

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

MSc. ING. NICOLÁS ELÍAS GUEVARA MORALES

MSc. ING. JOSÉ ADOLFO RAMOS HUEZO

San Salvador, febrero 2017

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

MSc. ING. NICOLÁS ELÍAS GUEVARA MORALES

MSc. ING. JOSÉ ADOLFO RAMOS HUEZO

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al ingeniero Nicolás Guevara, docente director, por su dedicación, aporte y esfuerzo durante todas las etapas de ésta investigación. Al ingeniero Adolfo Ramos, docente asesor, quien, con su colaboración desinteresada, conocimiento y experiencia, aportó en gran medida en la elaboración de este trabajo de grado.

A la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador, por el apoyo brindado durante el proceso experimental, facilitando, equipos, laboratorios y personal técnico.

Al ingeniero Evelio López y al técnico Carlos Morataya, por su aporte y colaboración durante la fase experimental de esta investigación.

A la Asociación de Estudiantes de Ingeniería Civil (ASEIC) por el apoyo incondicional mostrado en este trabajo.

Además, nuestros agradecimientos especiales a los compañeros y amigos:

- Marissa Alvarenga
- Gerardo Mena
- Andrés Landaverde
- Julio Valdivieso
- José Echeverría
- Geovanny Juárez
- Ana López
- Victoria Guerra
- Samuel Acevedo
- Carlos Pérez
- Víctor Tobar
- Evelin Rivas
- Jonathan Díaz
- Margarita Miranda
- Vladimir Serrano
- Eduardo Duarte
- Salvador Barrios
- Josué Méndez
- Héctor Vargas
- Mauricio Chávez
- Moisés Lucero
- Jhovanny Anaya
- Marlon Chavarría

Por su colaboración en las diferentes etapas de esta investigación, ya que su apoyo fue fundamental en este trabajo de grado:

A TODOS GRACIAS.

EL GRUPO

DEDICATORIA

A mi mayor ejemplo e inspiración mi padre, Rengner Aguirre, por su apoyo incondicional, sacrificios y esfuerzos, lo cual fue vital para poder culminar mis estudios.

A mi madre, Patricia de Aguirre por el apoyo, paciencia y cariño brindado

A mi tía, Lidia de Méndez por su confianza y cariño mostrado en los momentos más difíciles de la carrera, que sin su apoyo no hubiera sido posible finalizar esta etapa.

A mi familia en general

A mis amigos: Ana López, José Echeverría, Marissa Alvarenga, Karina Pérez, Álvaro Hernández, Verenice Marroquín, Carlos Pérez, Jonathan Díaz, Douglas Bonilla, Karla López, Karla Escalante y Dennis Martínez, por la amistad brindada, paciencia, cariño y por formar parte de mi formación académica en las diferentes etapas de la carrera, mostrando su apoyo incondicional en los momentos más difíciles de este proceso.

Josué David Aguirre López

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso, quien con sus bendiciones ha cuidado de mi familia.

A mi madre Milagro Cruz, quien con gran esfuerzo, sacrificio y amor me ha apoyado tanto en mi formación académica, como en todos los aspectos de mi vida.

A mi padre Jaime Marroquín, a quien agradezco todo sus consejos y sus esfuerzos por apoyarme en los momentos difíciles.

A mis hermanas Mayra y Margarita Cruz, por su apoyo y muestras de amor.

A mi abuela Juliana Cruz, por todos sus sacrificios y por el amor brindado.

A mi abuelo Antonio Cabrera, por el apoyo incondicional y desinteresado brindado a toda la familia.

A mi familia en General.

A mis amigos: Josué Méndez, Moisés Lucero, Carlos Quezada, Gerardo Mena, Samuel Acevedo, Otoniel Serrano y Evelin Rivas, con quienes tuve la dicha de compartir esta etapa de mi vida.

David Leonardo Cruz Benítez

DEDICATORIA

Quiero iniciar esta dedicatoria dando la Gloria y la honra a Dios nuestro padre y a Jesucristo nuestro salvador pues son los únicos que la merecen, son ellos quienes bendicen grandemente a mí y mi familia. Y como no mencionar a nuestra madre María Santísima si es ella quien me guía y me protege por el buen camino.

Dedico especialmente este logro a las personas más importantes en mi vida a quienes han sembrado un poco de su ser en mí, haciéndome lo que soy, y que con sus sacrificios y coraje me han dado este regalo tan valioso que es formarme como profesional. A mi padre REINALDO QUEZADA ARDÓN y mi madre SANDRIA HERNANDEZ DE QUEZADA, son mi orgullo y mi inspiración.

Papá, quiero agradecerle por todo ese esfuerzo que ha puesto para nuestra formación, por sus consejos y cariño, es la fuerza y el apoyo más grande que Dios me ha regalado.

Mamá, no sé cómo expresarle el profundo agradecimiento que le tengo por todo lo que hace por mí, solo sepa que este logro es suyo, y que en mi vida siempre estarán presentes sus enseñanzas, usted es quien me inspira a ser mejor cada día.

Y como no mencionar en mi dedicatoria a los mejores amigos que Dios me pudo regalar, quienes son un apoyo incondicional, me cuidan, alientan y ayudan en

todos los retos que emprendo en mi vida. A mis hermanos BRENDA QUEZADA y DANIEL QUEZADA.

Y también dedico este logro a todos los familiares, amigos y maestros que en alguna etapa de mi formación me apoyaron y contribuyeron a formarme como persona y como profesional, pero quiero mencionar especialmente a mi tía LORENA QUEZADA pues es ella quien inició este camino y aún al día de hoy recuerdo sus enseñanzas, a MAMAVILMA mi abuelita que siempre me inspiró y motivo a ser un profesional. Además, recordar a esos 3 ángeles que desde el cielo estoy seguro que celebran conmigo. A mis abuelos PAPASAUL, MAMATENCHI Y PAPACHAGO.

A mis compañeros de tesis, DAVID y AGUIRRE, ya que siendo pacientes y tolerantes me permitieron ayudarles en el desarrollo de este trabajo y aunque no fuimos un equipo de trabajo perfecto, pudimos sobrellevar las adversidades concluyendo así de manera satisfactoria nuestro trabajo.

Carlos Reynaldo Quezada Hernández

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	XXVIII
SIGLAS.....	XXX
NOMENCLATURA	XXXI
CAPITULO 1: GENERALIDADES	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema	14
1.3 Objetivos	15
1.3.1 Objetivo General:.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos:.....	15
1.4 Alcances	16
1.5 Limitaciones	16
1.6 Justificación.....	17
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
2.1 Sistemas de mampostería	20
2.1.1 Mampostería reforzada.....	21
2.2 Agrietamiento de la mampostería.....	24
2.3 Modos de falla de la mampostería.....	25
2.3.1 Falla por cortante.....	25
2.3.2 Falla por compresión.....	27
2.3.3 Falla por flexión	28
2.4 Daño sísmico	30
2.4.1 Conceptos generales.....	30
2.4.2 Niveles de desempeño sísmico.....	31
2.4.3 Niveles de daño para paredes de mampostería reforzada según FEMA 273.....	33
2.4.4 Niveles de daño para paredes de mampostería reforzada según FEMA 306.....	34

2.5 Rehabilitación de estructuras.....	38
2.5.1 Técnica del Parcheo estructural.....	42
2.5.1.1 Método de aplicación.....	42
2.5.2 Encamisado con malla metálica	51
2.5.2.1 Resistencia a cortante	51
2.5.2.2 Método de aplicación.....	54
CAPITULO 3: PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	62
3.1 Descripción de las paredes de bloque de concreto con refuerzo integral.	62
3.2 Construcción de paredes de mampostería reforzada.	65
3.3 Propiedades mecánicas de los materiales	75
3.3.1 Especificaciones de ensayos y normas utilizadas para el control de calidad de materiales y componentes.....	75
3.3.1.1 Bloque de concreto	75
3.3.1.2 Concreto fluido (Grout).....	77
3.3.1.3 Mortero	79
3.3.1.4 Acero de refuerzo	80
3.3.1.5 Concreto	81
3.4 Propiedades mecánicas de la mampostería.....	85
3.4.1 Ensayo de compresión simple en prismas.	85
3.4.2 Ensayo de compresión diagonal en prismas.	93
3.5 Análisis de resultados de las propiedades mecánicas de la mampostería	104
3.5.1 Resistencia a compresión simple.....	104
3.5.2 Módulo de elasticidad.	105
3.5.3 Resistencia a compresión diagonal y Módulo de rigidez a cortante.....	106
3.6 Metodología de ensayo.....	109

3.6.1 Método de carga	109
3.6.2 Medición de carga	110
3.6.3 Medición de desplazamientos	111
3.6.3.1 Instrumentación Externa	111
3.6.3.2 Instrumentación Interna	114
3.6.4 Sistema de adquisición de datos	115
3.7 Estimación de resistencia a carga lateral	115
CAPITULO 4: ENSAYO A PAREDES DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	128
4.1 Definición de parámetros	128
4.1.1 Histéresis y distorsión	129
4.1.2 Envolvente de respuesta	130
4.1.3 Rigidez	131
4.2 Ensayo de la pared BC-M01	132
4.2.1 Evolución del daño.....	132
4.2.2 Comportamiento histórico	135
4.2.3 Envolvente de respuesta	135
4.2.4 Degradación de rigidez.....	136
4.2.5 Niveles de daño	137
4.3 Ensayo de la pared BC-M02	140
4.3.1 Evolución del daño.....	140
4.3.2 Estado final del daño	142
4.3.3 Comportamiento histéretico	143
4.3.4 Envolvente de respuesta	144
4.3.5 Degradación de rigidez.....	145
4.4 Ensayo de la pared BC-M03	147
4.4.1 Evolución del daño.....	147

4.4.2 Estado final del daño	149
4.4.3 Comportamiento histéretico	149
4.4.4 Envolvente de respuesta	150
4.4.5 Degradación de rigidez.....	151
4.5 Comparación del comportamiento histéretico de las paredes.....	153
4.6 Superposición de envolventes de respuesta.....	154
CAPITULO 5: INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL Y ENSAYOS A PAREDES DE MAMPOSTERIA	
REFORZADA.....	157
5.1 Parcheo estructural aplicado a mampostería reforzada.	157
5.1.1 Identificación de grietas.	157
5.1.2 Verificación de la verticalidad.	158
5.1.3 Picado de grietas.	160
5.1.4 Limpieza y humectación	162
5.1.5 Preparación y colocación del puente de adherencia	164
5.1.6 Preparación y colocación del material de relleno	165
5.1.7 Curado.....	167
5.2 Encamisado con malla electrosoldada.....	168
5.2.1 Limpieza y reparación de grietas.....	168
5.2.2 Colocación de anclajes	170
5.2.3 Colocación de malla electrosoldada y recubrimiento de mortero.....	172
5.3 Ensayo de la Pared BC-M03RP	176
5.3.1 Evolución del daño.....	177
5.3.2 Estado final del daño	179
5.3.3 Comportamiento histéretico	183
5.3.4 Envolvente de respuesta.	184
5.3.5 Degradación de rigidez.....	185

5.4 Ensayo de la Pared BC-M02RF	185
5.4.1 Resistencia a cortante de la malla electrosoldada.....	186
5.4.2 Medición de deformaciones	188
5.4.3 Evolución del daño.....	190
5.4.4 Estado final del daño	192
5.4.5 Comportamiento histérico	195
5.4.6 Envolvente de respuesta	195
5.4.7 Degradación de rigidez.....	196
5.4.8 Comportamiento de la malla electrosoldada	197
CAPITULO 6: ANÁLISIS DE RESULTADOS DE PARDES DE MAMPOSTERIA REFORZADA ...	202
6.1 Análisis de resultados de la técnica parcheo estructural.....	203
6.1.1 Patrón de daño.....	203
6.1.2 Comportamiento histérico	205
6.1.3 Envolvente de respuestas	207
6.1.4 Degradación de rigidez.....	209
6.2 Análisis de resultados de la técnica del encamisado con malla electrosoldada	211
6.2.1 Patrón de daño.....	212
6.2.2 Comportamiento histérico	213
6.2.3 Envoltentes de respuesta	216
6.2.4 Degradación de rigidez.....	218
6.3 Análisis de Costos	219
6.3.1 Análisis de consto del parcheo estructural	220
6.3.1.1 Cuantificación de materiales.....	220
6.3.1.2 Mano de obra.....	221
6.3.1.3 Herramientas.....	221
6.3.2 Análisis de costo del encamisado con malla electrosoldada	223

6.3.2.1	Cuantificación de material	223
6.3.2.2	Mano de Obra	225
6.3.2.3	Herramientas.....	225
6.3.3	Resumen de resultados	227
CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		230
7.1	Conclusiones	230
7.1.1	Control de calidad de los materiales.....	230
7.1.2	Construcción de paredes.....	232
7.1.3	Metodología de ensayos	233
7.1.4	Ensayo de la pared patrón BC-M01	234
7.1.5	Aplicación de las técnicas de intervención.....	237
7.1.6	Ensayo de la pared reparada con la técnica del parcheo estructural	238
7.1.7	Ensayo de la pared reforzada con Técnica del encamisado con malla electrosoldada	242
7.1.8	Conclusión general.....	246
7.2	Recomendaciones	247
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		251
ANEXOS		256

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ubicación geoGráfica de El Salvador, influencia de la placa de Cocos, Placa de Norte América y Placa del Caribe.....	2
Figura 1.2: Cadena volcánica parte del cinturón de fuego del pacífico. Fuente: http://ineter.gob.ni (2004).....	3
Figura 1.3: Sistema de fallas asociadas a la formación y evolución del Graven Central en El Salvador. Fuente: http://www.snet.gob.sv	4
Figura 1.4: Materiales predominantes en viviendas (DIGESTYC, 2007). Fuente: Censo de población y vivienda, Tomo V (DIGESTYC ,2007).	7
Figura 1.5: Organigrama presentado en la Norma Técnica de Diseño por Sismo (NTDS)	8
Figura 2.1: Contribución del refuerzo horizontal a la resistencia a cortante.....	22
Figura 2.2: Contribución del refuerzo vertical a la resistencia a cortante.	23
Figura 2.3: Contribución del refuerzo vertical a esfuerzos de flexión.	24
Figura 2.4: Comparador plástico de grietas o grietómetro.	25
Figura 2.5: Falla por cortante fricción; (1) de forma escalonada, (2) deslizamiento.	26
Figura 2.6: Falla por tensión diagonal.....	27
Figura 2.7: Falla por compresión.	28
Figura 2.8: Falla por flexión.....	29
Figura 2.9: Falla por flexo-compresión.	30
Figura 2.10: Factores de modificación de los componentes y la severidad del daño.	35
Figura 2.11: Picado de grietas.	44
Figura 2.12: picado de grietas en juntas de mortero.	46
Figura 2.13: Anclaje del puente adherente en los poros del material de relleno y el bloque de concreto.....	47
Figura 2.14: Tipos de falla del puente adherente.	48
Figura 2.15: colocación del material de relleno.	49

Figura 2.16: Factor de eficiencia de los alambres horizontales.....	54
Figura 2.17: Tipos de anclaje: a) Anclaje en todo el espesor de la pared, b) Anclaje en parte del espesor de la pared.	57
Figura 2.18: Tipos de falla en los anclajes.....	58
Figura 2.19: Distribución de anclajes en la pared.....	59
Figura 2.20: Colocación de la malla electrosoldada.	60
Figura 2.21: Perfil de la pared, las anclas atraviesan la pared en todo su espesor.	60
Figura 3.1: Geometría y detalle del refuerzo de las paredes en estudio	63
Figura 3.2: Detalle solera de fundación	64
Figura 3.3: Detalle viga de transmisión de carga.....	65
Figura 3.4: Moldes metálicos para colado de las soleras base.	66
Figura 3.5: fijación de tubos PVC con acero de refuerzo.	66
Figura 3.6: Colocación de piezas de adobe forradas con plástico.	67
Figura 3.7: Colocación acero de refuerzo.....	68
Figura 3.8: Separadores plásticos para dar recubrimiento.....	68
Figura 3.9: Colado de las fundaciones	68
Figura 3.10: Desgaste de superficie con taladro y esmeril.....	70
Figura 3.11: Preparación de superficie lijando con: a) Lima plana; b) Lija N° 180; c) Lija N°320 y d) Lija de agua.	70
Figura 3.12: a) Limpieza de superficie con acetona para madera y b) pegado de Strain Gauge con pegamento LOCTITE 401.	71
Figura 3.13: a) Recubrimiento con parafina; b) Envoltura de gasa y c) Recubrimiento final con resina epóxica.	71
Figura 3.14: Pegado de bloques de concreto.....	72
Figura 3.15: Elaboración de prismas.	73
Figura 3.16: Elaboración de encofrados de viga de transmisión de carga.....	73

Figura 3.17: Colado de viga de transmisión de carga.	74
Figura 3.18: Retiro de piezas de adobe.	74
Figura 3.19: Paredes de mampostería reforzada.	74
Figura 3.20: Moldes para especímenes de concreto fluido (Grout).	78
Figura 3.21: Prisma a compresión simple. Fuente: APNMX-C-415-2002	85
Figura 3.22: Dispositivo para medir el acortamiento longitudinal de una pila empleando marcos metálicos de referencia. Fuente: APNMX-C-415-2002	86
Figura 3.23: Izquierda: Longitud de calibración. Derecha: Gráfica de esfuerzo axial vs deformación unitaria. Fuente: APNMX-C-415-2002.	89
Figura 3.24: Prisma a compresión diagonal. Fuente: APNMX-C-416-2002.	94
Figura 3.25: Presentación de cabezal adecuado. Fuente: APNMX-C-416-2002.	95
Figura 3.26: Instrumentación del prisma a compresión diagonal. Fuente: APNMX-C-416-2002.	96
Figura 3.27: Dimensiones para calcular el área de distribución de la fuerza.	98
Figura 3.28: Izquierda: Longitudes de calibración. Derecha: Gráfica de esfuerzo cortante vs distorsión. Fuente: APNMX-C-416-2002.	100
Figura 3.29: Ensamblaje completo de dispositivos para marco de carga.	109
Figura 3.30: Izquierda gato hidráulico 50 ton, derecha celda de carga 50 ton.	110
Figura 3.31: izquierda válvula manual para fuerza vertical, derecha válvula eléctrica para fuerza horizontal.	111
Figura 3.32: Instrumentación externa - vista oeste.	112
Figura 3.33: Instrumentación externa - vista este.	113
Figura 3.34: Instrumentación interna.	114
Figura 3.35: Descodificador de datos.	115
Figura 3.36: Envolvente de resistencia idealizada trilineal.	116
Figura 4.1: Ilustración del parámetro de distorsión.	129
Figura 4.2: Envolvente de respuesta.	130

Figura 4.3: Rigidez de ciclo.....	131
Figura 4.4: Patrón de grietas en el semiciclo -6 [Carga= -6 ton, Distorsión=-0.39%].....	134
Figura 4.5: Patrón de grietas en el semiciclo +7 [Carga= 7 ton, Distorsión=+0.70%].....	134
Figura 4.6: Esquema del estado final del daño, pared BC-M01	134
Figura 4.7: Patrón de grietas en el semiciclo -3 [Carga= -3.5 ton, Distorsión=-0.15%]	141
Figura 4.8: Patrón de grietas al finalizar el semiciclo -4	141
Figura 4.9: Patrón de grietas en el semiciclo -5 [Carga= -5 ton, Distorsión=-0.27%].....	142
Figura 4.10: Estado de daño final de BC-M02. [Izquierda: vista oeste. Derecha: vista este] ...	143
Figura 4.11: Daño moderado, rigidez degradada aproximadamente a un 40%.....	146
Figura 4.12: Patrón de grietas en el semiciclo +3 [Carga= 3.5 ton, Distorsión=0.13%]	148
Figura 4.13: Patrón de grietas al final del cuarto ciclo.....	148
Figura 4.14: Patrón de grietas en el semiciclo +7 [Carga= 6 ton, Distorsión=0.35%].....	148
Figura 4.15: Estado de daño final BC-M03. [Izquierda: Vista Oeste; Derecha: Vista Este]	149
Figura 4.16: Daño moderado, rigidez degradada aproximadamente a un 40%.....	153
Figura 5.1: Identificación y marcado de grietas	158
Figura 5.2: Verificación de la verticalidad	159
Figura 5.3: Apuntalamiento con madera.....	159
Figura 5.4: Picado de grietas en forma de “v”	160
Figura 5.5: Picado de grietas en la sisa.....	161
Figura 5.6: Picado de grietas	161
Figura 5.7: Limpieza con cepillo de alambre	162
Figura 5.8: Limpieza con brocha.....	163
Figura 5.9: lavado con agua y saturación se superficie a reparar	163
Figura 5.10: Verificación de la verticalidad antes de colocar el puente de adherencia.....	164
Figura 5.11: Colocación del puente de adherencia	165
Figura 5.12: Mezclado de forma mecánica.....	166

Figura 5.13: colocación de material de relleno	166
Figura 5.14: Producto final de la colocación del material de reparación	166
Figura 5.15: Pared reparada	167
Figura 5.16: Picado de grietas y formación de irregularidades en la superficie de la pared	169
Figura 5.17: Colocación de mortero de relleno	169
Figura 5.18: Perforación de agujeros para anclajes	170
5.19: Limpieza de agujeros para anclajes	171
Figura 5.20: Colocación de anclajes	171
Figura 5.21: Colocación de la primera capa de mortero	172
Figura 5.22: Colocación de malla electrosoldada	173
Figura 5.23: Colocación de cañuelas en los extremos de la pared	173
Figura 5.24: Colocación de segunda capa de mortero	174
Figura 5.25: Colocación de sargentos para sostener las cañuelas	175
Figura 5.26: Encamisado de pared con malla electrosoldada	175
Figura 5.27: Producto final de la pared intervenida	176
Figura 5.28: Inicio de la prueba - Grieta horizontal en la base de la pared	177
Figura 5.29: Patrón de grietas en el semiciclo -5 [Carga= -5 ton, Distorsión=-0.25%]	179
Figura 5.30: Patrón de grietas en el semiciclo +10 [Carga= 6.8 ton, Distorsión=0.69%]	179
Figura 5.31: Estado final del daño, pared BC-M03RP [Izquierda: Vista Oeste; Derecha: Vista Este]	180
Figura 5.32: a) Vista transversal de grieta por flexión; b) Falla típica	181
Figura 5.33: Falla por combinación de grietas por cortante y flexión	182
Figura 5.34: Falla en la unidad de mampostería producto de la combinación de grietas por cortante y flexión	183
Figura 5.35: Localización de Strain gauges [Vista Oeste]	188
Figura 5.36: Localización de Strain gauges [Vista Este]	189

Figura 5.37: Patrón de grietas en el semiciclo +5 [Carga= 5 ton, Distorsión=0.21%].	191
Figura 5.38: Patrón de grietas en el semiciclo -6 [Carga= -5 ton, Distorsión=-0.22%]	191
Figura 5.39: Patrón de grietas en el semiciclo +7 [Carga= 6 ton, Distorsión=0.30%]	191
Figura 5.40: Estado de daño final, pared BC-M02RF [Vista Este].	193
Figura 5.41: Pequeña grieta por cortante.	193
Figura 5.42: Formación de grieta por flexión.	193
Figura 5.43: Daños en la esquina inferior norte de la pared.	194
Figura 5.44: Unión entre el mortero de relleno y el bloque de concreto.	194
Figura 5.45: Resistencia de los alambres de la malla - esfuerzos de tensión. [Superior: Vista Oeste; Inferior: Vista Este].	199
Figura 5.46: Resistencia de los alambres de la malla - esfuerzos de compresión. [Superior: Vista Oeste; Inferior: Vista Este].	200
Figura 6.1: Patrón de grietas. Izquierda pared BC-MO3. Derecha pared BC-MO3RP.	204
Figura 6.2: Falla en el bloque de concreto.	205
Figura 6.3: Patrón de grietas. Izquierda pared BC-MO2. Derecha pared BC-MO2RF.	213
Figura 6.4: Pared con daño moderado, Longitud de grietas= 33.76 ml	220
Figura 7.1: Patrón de daños para un nivel de daño moderado, pared BC-M01.	236
Figura 7.2: Estado final del daño, pared BC-M03RP.	239
Figura 7.3: Estado final del daño pared BC-M02RF.	243
Figura 7.4: Anclaje de malla electrosoldada a solera de fundación.	249

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Daños a viviendas provocados por terremotos destructivos. Fuente: Edwin R. Alvarenga, Douglas A. Hernández, Daniel A. Hernández,	5
Tabla 1.2: Consulta de viviendas afectadas y viviendas destruidas. Fuente: DESINVENTAR-EI Salvador	6
Tabla 2.1: Niveles de desempeño y daños estructurales. Fuentes: FEMA, A. T. (1997), "nehrp guidelines for the seismic rehabilitation of buildings," FEMA 273.	34
Tabla 2.2: Factores de modificación y clasificación del daño. Fuentes: FEMA, A. T. (1998), "Evaluation of earthquake damaged Concrete and masonry wall buildings". FEMA 306 pág. 130.	37
Tabla 2.3: Criterios de puntuación de las técnicas de intervención.	41
Tabla 2.4: Matriz de decisión para las técnicas de intervención.	41
Tabla 2.5: tolerancias en desplomes de estructuras de mampostería.	43
Tabla 2.6: Requisitos del mortero de reparación estructural.	50
Tabla 3.1: Clasificación de los Bloques por Densidad. Fuente: Norma ASTM C 90-06, "Especificaciones para Unidades Portantes de Mampostería de Concreto", Tabla N°2.	76
Tabla 3.2: Requerimientos de absorción. Fuente: Norma ASTM C 90-06, "Especificaciones para Unidades Portantes de Mampostería de Concreto", Tabla N°2.	76
Tabla 3.3: Resistencia Mínima a Compresión. Fuente: Norma ASTM C 90-06, "Especificaciones para Unidades Portantes de Mampostería de Concreto", Tabla N°2.	76
Tabla 3.4: Proporciones del Grout por Volumen. Fuente: Norma ASTM C 476-02, "Especificación Estándar para Grout de Mampostería", Tabla N°1.	77
Tabla 3.5: Proporciones por volumen para mortero. Fuente: "Norma técnica para control de calidad de materiales estructurales" 19997, Tabla 4.2.	80

Tabla 3.6: Requerimientos de tensión para barras de acero al carbono. Fuente: Norma ASTM A 615–04b, “Especificación estándar para barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo del concreto”, Tabla N° 2.	81
Tabla 3.7: Resultados experimentales de los materiales	83
Tabla 3.8: Resumen de ensayos realizados a los materiales y componentes.	84
Tabla 3.9: factores correctivos por esbeltez de prismas. Fuente: APNMX-C-415-2002.:	87
Tabla 3.10: Resumen de datos de prismas a compresión simple antes del ensayo.....	90
Tabla 3.11: Resumen de resultados de prismas a compresión simple.	90
Tabla 3.12: Prismas a compresión simple y su modo de falla.....	92
Tabla 3.13: Resultados del ensayo de prismas a compresión diagonal.	101
Tabla 3.14: Prismas a compresión diagonal y su modo de falla.	103
Tabla 3.15: correlación lineal entre resistencia a compresión simple y módulo de elasticidad de la mampostería.	105
Tabla 3.16: Resultados obtenidos de las correlaciones establecidas en la norma técnica de mampostería y resultados obtenidos de ensayos a prismas.....	108
Tabla 3.17: descripción de dispositivos de transmisión de carga.....	110
Tabla 3.18: Transductores utilizados para cada pared - vista oeste.	112
Tabla 3.19: transductores utilizados para cada pared vista este.	113
Tabla 3.20: Strain Gauge utilizados en paredes.....	115
Tabla 3.21: Valores de ductilidad para paredes de mampostería. Fuente: Tomazevic, 1997. .	119
Tabla 3.22: Puntos del modelo trilineal.....	124
Tabla 4.1: Nomenclatura utilizada para la identificación de paredes.	128
Tabla 4.2: Factores de modificación y niveles de daño, pared BC-M01.	140
Tabla 5.1: Características de la malla electrosoldada.	186
Tabla 5.2: Dimensiones de la pared.	186
Tabla 5.3: Strain gauge utilizados en malla electrosoldada [vista Oeste].	189

Tabla 5.4: Strain gauge utilizados en malla electrosoldada [vista Este].....	190
Tabla 5.5: Esfuerzos de tensión máximos en los alambres de la malla electrosoldada.	198
Tabla 5.6: Esfuerzos de compresión máximos en los alambres de la malla electrosoldada. ...	198
Tabla 6.1: Análisis de precio unitario de la intervención mediante el parcheo estructural	222
Tabla 6.2: Análisis de precio unitario de encamisado con malla metálica	226
Tabla 6.3: Precios unitarios de cada técnica de intervención.....	227

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 3.1: Grafica esfuerzo vs deformación unitaria.....	92
Gráfica 3.2: Grafica esfuerzo vs deformación angular.	103
Gráfica 3.3: Propuesta de envolvente de resistencia teórica.	126
Gráfica 4.1: Curva histérica y envolventes de carga, pared BC-M01.....	135
Gráfica 4.2: Envolvente de respuesta, pared BC-M01.	136
Gráfica 4.4: Degradación de rigidez, pared BC-M01.....	137
Gráfica 4.5: Degradación de rigidez vs porcentaje de carga aplicado, pared BC-M01.....	138
Gráfica 4.6: Curva de histéresis, pared BC-M02.....	144
Gráfica 4.7: Envolvente de respuesta, pared BC-M02.	145
Gráfica 4.8: Curva de degradación de rigidez de la pared BC-M02.....	146
Gráfica 4.9: Curva de histéresis, pared BC-M03.....	150
Gráfica 4.10: Envolvente de respuesta, pared BC-M03.	151
Gráfica 4.11: Degradación de rigidez, pared BC-M03.....	152
Gráfica 4.12: Comparación del comportamiento histérico de los especímenes.....	154
Gráfica 5.1: Curva histérica, pared BC-M03RP.....	184
Gráfica 5.2: Envolvente de respuesta, pared BC-M03RP.	184
Gráfica 5.3: Degradación de rigidez, pared BC-M03RP.....	185
Gráfica 5.4: Curva histérica, pared BC-M02RF.	195
Gráfica 5.5: Curva envolvente, pared BC-M02RF.	196
Gráfica 5.6: Degradación de rigidez.	196
Gráfica 6.1: Superposición de curvas histéricas de los especímenes BC-M03 y BC-M03RP.	206
Gráfica 6.2: Superposición de curvas histéricas de los especímenes BC-M01 y BC-M03RP.	207

Gráfica 6.3: Superposición de envolventes primarias de los especímenes BC-M03 y BC-M03RP	208
Gráfica 6.4: Superposición de envolventes primarias de los especímenes BC-M01 y BC-M03RP.	209
Gráfica 6.5: Superposición de las curvas de degradación de rigidez de los especímenes BC- M03 y BC-M03RP.	210
Gráfica 6.6: Superposición de curvas histeréticas de los especímenes BC-M02 y BC-M02RF.	214
Gráfica 6.7: Superposición de curvas histeréticas de los especímenes BC-M01 y BC-M02RF.	215
Gráfica 6.8: Superposición de envolventes primarias de los especímenes BC-M02 y BC-M02RF.	216
Gráfica 6.9: Superposición de envolventes primarias de los especímenes BC-M01, BC-M02 y BC-M02RF.	217
Gráfica 6.10: Superposición de las curvas de degradación de rigidez de los especímenes BC- M02 y BC-M02RF.	218
Gráfica 7.1: Superposición de las curvas de histéresis de los especímenes BC-M03RP y BC- M01.	240
Gráfica 7.2: Superposición de las curvas de degradación de rigidez. Especímenes BC-M03 y BC-M03RP.	241
Gráfica 7.3: Superposición de curvas histeréticas de los especímenes BC-M01 y BC-M02RF.	244
Gráfica 7.4: Superposición de las curvas de degradación de rigidez de los especímenes BC- M02 y BC-M02RF.	245

INTRODUCCIÓN

La alta sismicidad en El Salvador, ha provocado cuantiosos daños y pérdidas en diversos sectores del país a lo largo de la historia, siendo el sector vivienda uno de los principales afectados, por lo tanto, repercute directamente en la economía de la población.

En la actualidad, la mampostería reforzada se ha convertido en uno de los sistemas predominantes para la construcción de viviendas, gracias a las numerosas ventajas que presenta, dentro de las cuales se encuentra su fácil colocación y su bajo costo económico. Sin embargo, en El Salvador es muy común debido a factores culturales y muchas veces económicos que las viviendas sean construidas por albañiles contratados por el propietario, sin una supervisión técnica ni mucho menos un diseño estructural, lo cual propicia que muchas de estas estructuras sean vulnerables ante la ocurrencia de eventos sísmicos.

En este documento se plasman los resultados del estudio experimental de las técnicas del parcheo estructural y del encamisado con malla electro soldada, como métodos de rehabilitación de estructuras de mampostería reforzada.

La investigación consta de las siguientes etapas:

Antecedentes, donde se trata temas como: la sismicidad, el reglamento local e internacional acerca de las intervenciones y los daños a los que son sometidas las estructuras de mampostería.

Construcción y control de calidad de paredes, donde se describe el proceso llevado para la construcción de las paredes ensayadas.

Ensayo previo, para poder conocer experimentalmente las propiedades mecánicas de la mampostería utilizada, donde se ensayó una pared denominada patrón, con la cual se pudo determinar el nivel de daño al cual se llevarían las dos paredes en estudio.

Aplicación de técnicas, luego de que las paredes se encontraran en el nivel de daño definido, se procedió a aplicar las técnicas seleccionadas, para posteriormente ensayarlas hasta su falla.

Con los datos obtenidos experimentales se evaluaron cada una de las técnicas.

SIGLAS

DIGESTYC:	Dirección General de Estadística y Censos
MOP:	Ministerio de Obras Públicas
JICA:	Agencia de Cooperación Internacional del Japón
FUNDASAL:	Fundación Salvadoreña de Desarrollo y Vivienda Mínima
VMVDU:	Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano
FEMA:	Federal Emergency Management Agency
CENAPRED:	Centro Nacional de Prevención de Desastres (México)
UES:	Universidad de El Salvador
UCA:	Universidad Centro Americana “José Simeón Cañas”
NTDS:	Norma Técnica de Diseño por Sismo
AIS:	Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica
ACI:	American Concrete Institute
ASTM:	American Society for Testing and Materials
NTCM:	Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (México)

NOMENCLATURA

f_n :	Esfuerzos normales
τ :	Esfuerzos cortantes
λ_k :	Factor de modificación de rigidez
λ_Q :	Factor de modificación de carga
V_{mR} :	Resistencia a cortante de la mampostería
V_{sm} :	Contribución de la malla de alambre
F_R :	Factor de resistencia
V_m :	Resistencia a compresión diagonal de la mampostería
A_T :	Área Transversal de la pared
P :	Carga axial sobre la pared.
ρ_h :	Cuantía del refuerzo horizontal
f_{yh} :	Resistencia de fluencia de los alambres horizontales de la malla electro soldada
η_h :	Factor de eficiencia de los alambres horizontales de la malla electro soldada.
f_u :	Resistencia a la compresión de unidades de bloque de concreto
f'_{mor} :	Resistencia a la compresión del mortero
f'_c :	Resistencia a la compresión del concreto

f'_g :	Resistencia a la compresión del grout
f'_m :	Resistencia a la compresión simple de la mampostería
E :	Módulo de elasticidad de la mampostería
V_m :	Resistencia a la compresión diagonal de la mampostería
G :	Módulo de rigidez a cortante de la mampostería
K_e :	Rigidez efectiva
h :	Altura de la pared
b_w :	Espesor efectivo de la pared
I :	Momento de inercia
V_{agr} :	Carga lateral correspondiente al primer agrietamiento en diagonal de la mampostería
$d_{V_{agr}}$:	Desplazamiento lateral correspondiente al primer agrietamiento en diagonal de la mampostería
V_R :	Resistencia máxima de la pared de mampostería reforzada
d_{V_R} :	Desplazamiento lateral correspondiente a la resistencia máxima de la pared de mampostería reforzada
V_U :	Resistencia última de la pared de mampostería reforzada
d_{V_U} :	Desplazamiento lateral correspondiente a la resistencia última de la pared de mampostería reforzada

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES

CAPITULO 1: GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

El Salvador está ubicado geográficamente en una región donde existe una alta sismicidad, a consecuencia de ello las edificaciones se ven frecuentemente sometidas a acciones dinámicas.

Las principales fuentes de sismos en el territorio son las siguientes:

1. El proceso de subducción entre las placas tectónicas de Cocos y del Caribe, en el lugar denominado “fosa de subducción” localizado a unos 125 km de la costa salvadoreña llegando hasta profundidades arriba de 300 km por debajo del istmo centroamericano. En esta zona se pueden generar eventos con magnitudes¹ cercanas 8.0.



Figura 1.1: Ubicación geográfica de El Salvador, influencia de la placa de Cocos, Placa de Norte América y Placa del Caribe.

¹ Magnitud de Terremotos: Es una medida de la fuerza de un terremoto o más exactamente la energía sísmica liberada, calculada en base a registros de las ondas sísmicas (sismogramas). La primera escala de magnitud la inventó Charles Richter. La escala de magnitud es logarítmica, por lo que un incremento de una unidad de magnitud corresponde a un aumento de 30 veces la energía liberada.

2. Otra fuente de actividad sísmica es la relacionada con la cadena de volcanes en Centroamérica que corre paralelamente a la fosa de subducción con una longitud total de aproximadamente 1060 km. A pesar de que en esta zona los terremotos no alcanzan magnitudes por arriba de 6.5, son los que más destrucción ocasionan debido a que sus focos superficiales son menores a 25 km- y cercanía a núcleos poblacionales. Los últimos terremotos que han sido asociados a esta causa han sido los del 3 de mayo de 1965 y el 10 de octubre de 1986 con magnitud de 6.3 y 5.4 respectivamente.

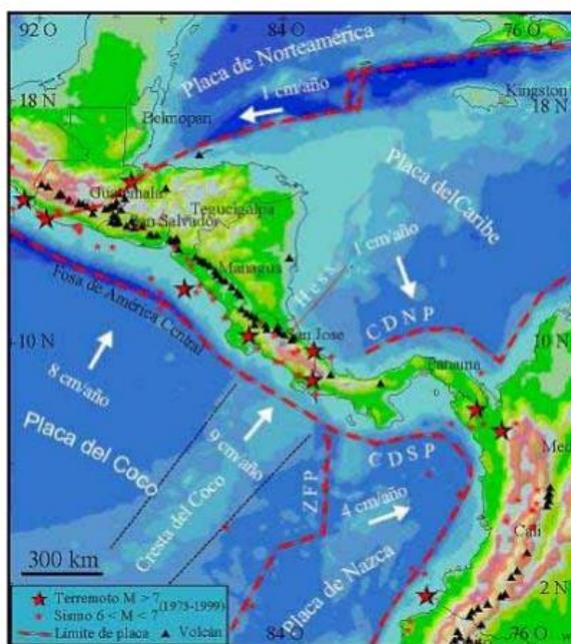


Figura 1.2: Cadena volcánica parte del cinturón de fuego del pacífico. Fuente: <http://ineter.gob.ni> (2004).

3. Un sistema de fallas geológicas con una dirección predominante noroeste-sureste dentro del territorio salvadoreño.
4. Un sistema de fallas geológicas en Guatemala que definen la frontera entre la placa de Norteamérica y la placa del Caribe.
5. Un sistema de fallas geológicas con dirección norte-sur, ubicadas en la depresión de Honduras.

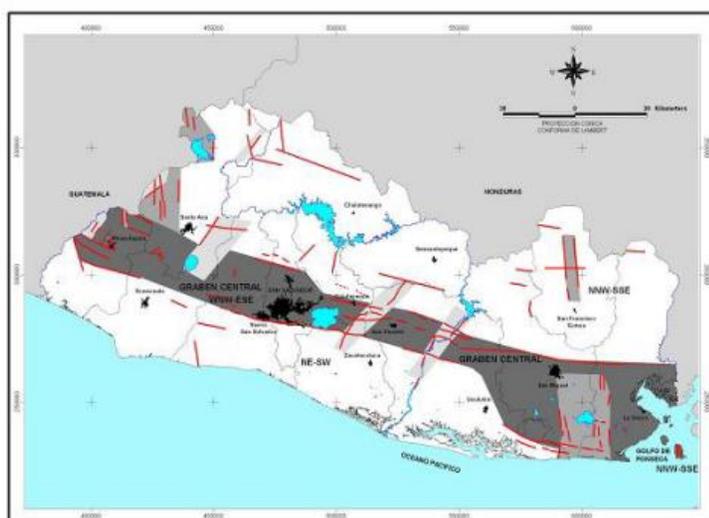


Figura 1.3: Sistema de fallas asociadas a la formación y evolución del Graven Central en El Salvador.
Fuente: <http://www.snet.gob.sv>.

A los sismos generados por las fuentes 2 y 3 se les denomina como locales. Estos generalmente ocurren a profundidades menores a 30 kilómetros y han sido los que han causado mayor destrucción en El Salvador. Entre los sismos locales más destructivos se pueden mencionar: Jucuapa-Chinameca el 6 de mayo de 1951; San Salvador el 3 de mayo de 1965; San Salvador el 10 de octubre de 1986 y San Vicente el 13 de febrero de 2001.

A los sismos generados por las fuentes 1, 4 y 5 se les conoce como regionales. El último sismo regional de gran intensidad en territorio salvadoreño fue el del 13 de enero de 2001, ubicado en el Océano Pacífico.

Comúnmente en El Salvador, las viviendas son construidas por el propietario o por albañiles contratados, sin ningún diseño estructural ni supervisión técnica, esto conlleva a que las viviendas sean vulnerables ante a las solicitaciones sísmicas. Existen registros de una gran cantidad de viviendas destruidas y dañadas por los terremotos de los últimos años.

Fecha	Magnitud	Epicentro	Profundidad (km)	Daños
3 mayo 1965	Ms= 6.0	San Salvador	15	25 muertos, 400 heridos y 4000 casas destruidas
10 octubre 1986	Mb= 5.4	San Salvador	7.3	1,500 muertos, 10,000 heridos, unas 60,000 viviendas destruidas o seriamente dañadas.
13 enero 2001	Mw=7.6	Zona de Subducción	39	Se reportan 944 fallecidos, 1155 edificios públicos dañados, 108,261 viviendas destruidas, 19 hospitales dañados, 405 iglesias dañadas,
13 febrero 2001	Mw=6.6	Zona de San Vicente	13	Se reportan 315 fallecidos, 82 edificios públicos dañados, 41302 viviendas destruidas, 5 hospitales dañados, 73 iglesias dañadas, 71 derrumbes.

Tabla 1.1: Daños a viviendas provocados por terremotos destructivos. Fuente: Edwin R. Alvarenga, Douglas A. Hernández, Daniel A. Hernández,

Sin embargo, no es necesario que ocurran sismos de gran magnitud para provocar daños en las viviendas. Prueba de ello es la gran cantidad de reportes en los medios informativos de dichos casos. A continuación, se presenta un

informe de la base de datos DESINVENTAR (Inventario Histórico de Desastres) la cual muestra el daño de viviendas causada por los sismos reportados desde el año 1900 hasta el 2015.

4/4/2016 Desinventar | El Salvador - Inventario histórico de desastres

Archivo Usuario Consultas Ayuda

Ver fichas Mapas Gráficos Consolidados

Tipos de eventos: Sismo; Desde: 1900; Hasta: 2015; Efectos: Viviendas afectadas, Viviendas destruidas;

<< < > >> Páginas: 1 de 1 |

Fila	Departamento	Número de fichas	Muertos	Heridos; enfermos	Afectados	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Totales		444	2306	11265	482000	172407	170077
1	AHUACHAPAN	43	3	232	91 993	18 212	6 808
2	SANTA ANA	22	51	328	8 135	13 936	4 827
3	SONSONATE	38	52	1 285	62 700	17 628	9 655
4	CHALATENANGO	27	685	1 981	23 285	14 562	15 729
5	LA LIBERTAD	20	13	37	621	132	356
6	SAN SALVADOR	64	690	2 317	63 595	12 865	33 970
7	CUSCATLAN	37	185	1 415	68 495	13 941	19 749
8	LA PAZ	22	12	41	3 988	1 405	819
9	CABAÑAS	18	104	1 268	37 730	18 385	12 777
10	SAN VICENTE	35	72	418	10 640	17 447	25 701
11	USulután	50	261	1 383	54 148	30 722	33 030
12	SAN MIGUEL	28	176	549	43 785	10 599	6 298
13	MORAZAN	20	0	3	225	110	5
14	LA UNION	20	2	8	12 660	2 463	353

Tabla 1.2: Consulta de viviendas afectadas y viviendas destruidas. Fuente: DESINVENTAR-El Salvador

Con los datos antes mencionados queda en evidencia la vulnerabilidad de las viviendas en El Salvador.

En el censo de población y vivienda por condición de ocupación, que presentó la Dirección General de Estadística y Censos (DIGESTYC) en el 2007, enfocado al material predominante de las paredes de las “viviendas particulares ocupadas con población presente”, se detalla que, de 1, 372,853 viviendas que existen de este tipo, 977,950 poseen paredes de bloque de concreto o mixto.

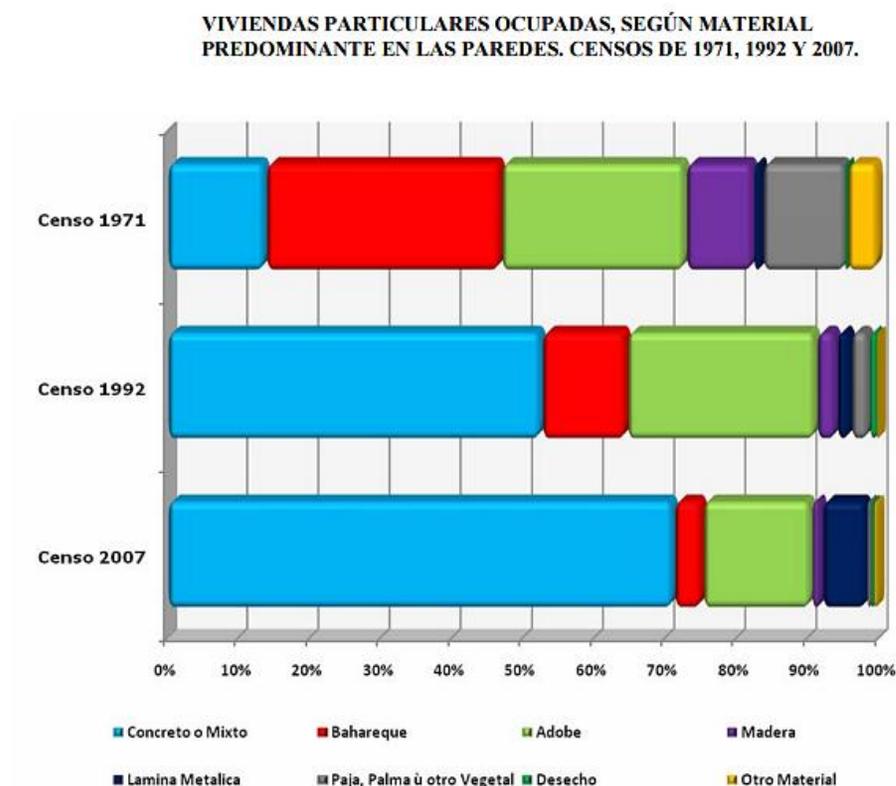


Figura 1.4: Materiales predominantes en viviendas (DIGESTYC, 2007). Fuente: Censo de población y vivienda, Tomo V (DIGESTYC, 2007).

El ente encargado de velar la seguridad de las construcciones es el Estado, Después de realizados varios estudios por parte del MOP (Ministerio de Obras Públicas) con el apoyo de diferentes gremios de la industria de la construcción, se decretó el 23 de octubre de 1996 el denominado “Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones” cuyo objetivo es el de establecer requisitos mínimos en lo que respecta al diseño estructural, ejecución, supervisión estructural, reparaciones y demoliciones así como el uso de las construcciones.

Este a su vez posee un conjunto de Normas Técnicas las cuales definen los procedimientos de diseño por sismo y viento, así como los requisitos mínimos de diseño y construcción para determinados materiales.

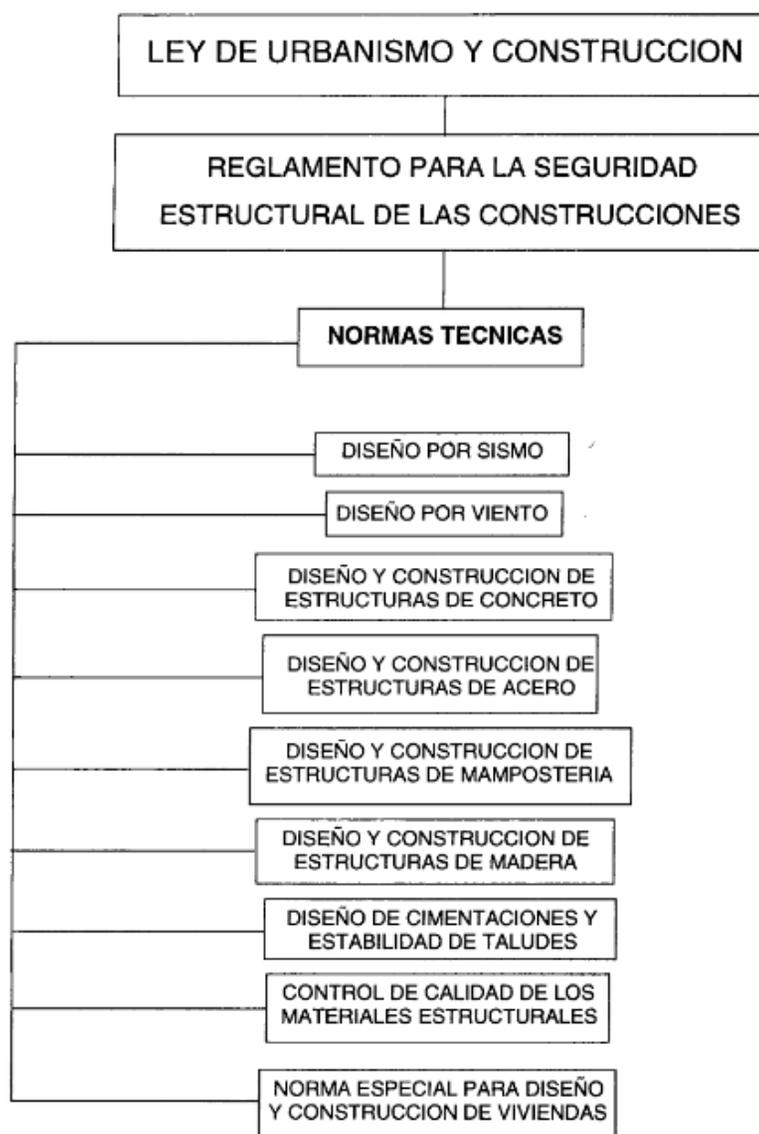


Figura 1.5: Organigrama presentado en la Norma Técnica de Diseño por Sismo (NTDS)

La Norma Especial para Diseño y construcción de viviendas (1997) establece requisitos para viviendas regulares de una y dos plantas. Sin embargo, dada la enorme ocurrencia de daños en viviendas durante los terremotos de enero y febrero de 2001, se decidió realizar la revisión y actualización de esta norma en el año 2004, sin embargo, esta no fue aprobada. No existe una norma técnica en El Salvador que establezca requisitos para las reparaciones hechas en edificaciones.

Además de las normas técnicas aplicables en el país, a lo largo de los años en El Salvador se han hecho esfuerzos, principalmente por las Universidades, por aportar conocimiento técnico que ayude a comprender y evaluar el comportamiento de las viviendas ante acciones sísmicas.

❖ INVESTIGACIONES NACIONALES

- *TAISHIN, FASE I. (Diciembre 2003-Mayo 2009)* El proyecto “mejoramiento de la tecnología para la construcción y difusión de la vivienda popular Sismo-Resistente” TAISHIN, investigó los diferentes sistemas que se encuentran en el país, y dio como resultados manuales de aplicación y recomendaciones para la construcción de la vivienda popular. La investigación se llevó a cabo gracias al apoyo de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y al trabajo experimental de investigadores de la Universidad de El Salvador (UES), Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” (UCA),

La Fundación Salvadoreña de Desarrollo y Vivienda Mínima (FUNDASAL), y del Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano (VMVDU).

- *TAISHIN FASE II. (Junio 2009-Diciembre 2012)* El objetivo de TAISHIN en su fase II era fortalecer la administración gubernamental del sector vivienda, en la promoción de la vivienda social mejorada en su capacidad sísmica. Se profundizó en la investigación sobre el comportamiento estructural y las propiedades de los materiales de tres sistemas constructivos, con miras a la revisión o elaboración de normas de construcción para vivienda social: Adobe Sismo Resistente, Mampostería confinada de Suelo Cemento y Bloque de Concreto con Refuerzo Integral.
- Ayala Antillón, A. A., Martínez Jiménez, J. J., & Trujillo Peraza, J. A. (2012). *“Estudio experimental del comportamiento estructural en el plano, de la mampostería de bloque de concreto con refuerzo integral, bajo diferentes condiciones de servicio”*. San Salvador: UES. En el cual se propuso conocer el efecto que tiene la transmisión de las cargas de servicio a través de la mampostería en una edificación de 4 niveles, apoyándose para ello en la teoría de Mann y Müller, la cual establece que la capacidad de esfuerzo cortante último de una pared puede ser descrita por una curva envolvente, compuesta por las curvas de los tres tipos de falla (por cortante-fricción, por tensión diagonal y por compresión), Para definir la envolvente de falla se ensayaron ocho modelos de bloque de concreto con refuerzo integral de 1

metro de altura por 1 metro de longitud y con un espesor de 15 cm aproximadamente, todos con el mismo refuerzo. Los modelos fueron sometidos a cuatro niveles de carga, representando cada nivel un punto de la envolvente en cuestión.

Existen estudios que se han enfocado en las reparaciones estos son los siguientes:

- *“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE VIVIENDAS DE BLOQUE REPARADAS”*. Investigación que se llevó a cabo en la Universidad Centro Americana “José Simeón Cañas” (UCA) uno de los aportes a ésta investigación lo brinda el siguiente trabajo de graduación:
- *Salazar Claros, C. R, Valencia Mármol, J. D, Vigil Nolasco, J. J, (2014), Métodos de reparación en edificaciones de bloque de concreto con refuerzo integral. San Salvador, UCA.* En el cual se ensayó una pared de bloque de concreto a escala real bajo carga pseudoestática cíclica, luego de ello la pared se reparó aplicando la técnica de reparación “parcheo estructural”, y se ensayó nuevamente bajo las mismas condiciones de carga, con el objetivo de establecer el comportamiento estructural de la pared reparada y compararlo con el de la original. La pared reparada manifestó mayor rigidez que la pared original, así mismo demostró resistir mayores cargas a medida que aumentaba su deformación, en general el comportamiento de la pared reparada se describe como bueno, pero a pesar de ello se hace la observación que la técnica de reparación usada requiere modificaciones, o

mejoras para lograr un comportamiento dentro del rango elástico mucho mejor.

- En el marco de TAISHIN-FASE II se llevó a cabo la investigación del sistema constructivo “Adobe Reforzado” por parte del Ing. Manuel Gutiérrez e Ing. Delmy Núñez, en la cual se ensayaron en la mesa inclinable de la Universidad de El Salvador (UES) dos modelos, los cuales fueron reforzados con malla de alambre. Ambos modelos mostraron cualitativamente que el comportamiento de las construcciones de adobe mejoradas con esa alternativa de reforzamiento estructural es satisfactorio y recomiendan su uso para dicho sistema constructivo.

❖ INVESTIGACIONES INTERNACIONALES

Existen muchas investigaciones desarrolladas en el extranjero y que son de gran valor en el estudio de la mampostería, ejemplo de ello encontramos en las publicaciones siguientes:

- Ramírez de Alba. H, Carreón Guardado, B. B. (2002) *“Reparación y refuerzo de muros de mampostería de tabique de arcilla para vivienda de bajo costo”*. México -. En esta se reportan los resultados de ensayos de prismas tratados con 10 diferentes técnicas de reparación y refuerzo, lo que permitió determinar las bondades de dichas técnicas. Las diferentes técnicas empleadas se basaron en el uso de cintas metálicas adheridas a las paredes en diversas formas.

- Ruiz, Zepeda, Alcocer y Meli. (1995). *“Reparación y refuerzo de una estructura tridimensional de mampostería confinada de dos niveles a escala natural”*. México - El documento describe el ensayo realizado a una estructura tridimensional de dos niveles construida a base de mampostería confinada con piezas macizas de barro cocido. El modelo fue dañado al someterlos a cargas laterales cíclicas, y posteriormente reparado empleando malla de alambre electro soldada recubierta con mortero de cemento.
- Profesor frieder seible *“structural rehabilitation with advanced composites”*, San Diego. University of California. La publicación resume los resultados obtenidos al reparar un edificio de 5 pisos de mampostería reforzada a escala natural, el cual fue probado bajo cargas sísmicas simuladas, aplicadas en este hasta fallar. Después de haber reconstruido con concreto de polímero las esquinas aplastadas de las paredes., el edificio fue reparado por medio de recubrimientos de carbono estructurales en las paredes de los dos primeros pisos, para luego ser sometido a una segunda prueba de carga.

A estos podemos sumar los reportes realizados y publicados por la Federal Emergency Management Agency (FEMA), dentro de los cuales son de interés los titulados FEMA 273 (1996) y FEMA 274 (1996), que fueron reevaluados y modificados, para posteriormente ser publicados como FEMA 356 (2000). En estos reportes a partir del uso de análisis estático no-lineal, se establecen diferentes niveles de desempeño estructural a seleccionar en el diseño de una edificación, cada nivel de desempeño es asociado a un porcentaje de deriva

máximo. Así mismo en cada uno de los niveles se establecen condiciones que permiten determinar la factibilidad de reparación de la edificación, al verse está sometida al sismo de diseño, en el caso de la mampostería reforzada en la publicación FEMA 273 se han establecido los porcentajes de derivas y anchos de grietas asociados a dichos niveles de desempeño.

1.2 Planteamiento del problema

El Salvador es un país con una alta actividad sísmica y las edificaciones se ven sometidas con relativa frecuencia a acciones dinámicas que producen daños. El sistema constructivo predominante en la actualidad para viviendas es el de mampostería reforzada que, si bien es cierto, experimentalmente se ha comprobado la eficacia del mismo, las malas prácticas constructivas, sismos de una magnitud considerable o la baja calidad de los materiales, inevitablemente desencadenan en daños a la estructura. Las normativas del país deberían dar los criterios técnicos necesarios y las herramientas para poder intervenir las edificaciones o elementos estructurales dañados, sin embargo, no existe tal reglamento y las reparaciones se aplican sin conocer su efectividad y eficacia estructural, dejándolo muchas veces a criterio y experiencia del albañil.

La necesidad de reparar las viviendas siempre ha existido y seguirá existiendo; sin embargo, a lo largo del tiempo se han utilizado técnicas de reparación sin saber cuánto contribuyen a la recuperación de las propiedades originales de éstas estructuras o si al nivel de daño en el que éstas se encontraban aún resultaba factible su aplicación.

El problema en sí, es que estamos en un país con alta sismicidad; las viviendas se dañan y no existe en nuestro país una norma para ello, por lo que no se tiene información técnica sobre cómo se comportan o en cuanto contribuye una técnica.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General:

Estudiar experimentalmente dos técnicas de intervención estructural, en viviendas de mampostería reforzada de dos niveles.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Determinar mediante el ensayo de prismas, propiedades mecánicas como resistencia a compresión simple y diagonal, módulo de Elasticidad, entre otras, de las paredes de mampostería reforzada.
- Analizar la capacidad de resistencia teórica y real de las paredes en estudio.
- Retomar modelos teóricos que describan el comportamiento estructural de las paredes (curvas de histéresis, envolventes de respuesta, entre otras) y aplicarlos al estudio experimental.
- Establecer el nivel de daño máximo con el que deben contar las paredes para poder ser intervenidas.

- Evaluar los resultados de las dos paredes intervenidas en términos de propiedades mecánicas, comportamiento estructural y efectividad de técnicas.
- Determinar el costo unitario por la aplicación de las técnicas de intervención propuestas.

1.4 Alcances

- Establecer el porcentaje que las dos técnicas de Intervención estructural aportan a la recuperación de resistencia, rigidez y capacidad de deformación (ductilidad) en las paredes de mampostería reforzada.
- Proponer un nivel de daño bajo el cual las paredes de bloque de concreto con refuerzo integral de las viviendas aún puedan ser intervenidas.

1.5 Limitaciones

- La cantidad de paredes a construir estará limitada a tres, debido al tiempo disponible, recurso humano y cantidad de materia prima que se requiere para la construcción.
- En nuestro país no existe una normativa que proporcione lineamientos y regule las evaluaciones y reparaciones estructurales en paredes de mampostería dañadas por sismo, por lo que la investigación estará basada en publicaciones y/o lineamientos de otros países como: FEMA, NTCM publicaciones del CENAPRED, etc.
- Solo se evaluará una separación del acero de refuerzo.

- La configuración de las paredes se limita a especímenes sin huecos de puertas y ventanas, ya que incluir estas características implicaría más variables de estudio, por ende, una mayor cantidad de paredes a construir, materia prima, tiempo y recurso económico.
- Únicamente se evaluarán experimentalmente dos técnicas de intervención (parqueo estructural y encamisado con malla electro soldada).
- El sistema de cargas que se utilizará para ensayar las paredes no toma en cuenta los efectos de las cargas fuera del plano, además las condiciones de los ensayos estarán limitadas a paredes del primer nivel de viviendas de dos niveles.

1.6 Justificación

Según el censo poblacional del 2007, el 72.21% de las viviendas en el país los materiales de sus paredes son de “concreto o mixtas”, categoría en la cual se agrupan aquellas que son construidas con paredes de bloque de concreto con refuerzo integral, este dato nos indica que gran parte de la población utiliza dicho sistema estructural. El Salvador como se sabe, es un país altamente sísmico, por lo que las viviendas frecuentemente se ven sometidas a acciones dinámicas que producen daños. Si bien es cierto que en ciertas ocasiones dichos daños conllevan al colapso de este tipo de estructuras, en la mayor parte de estas los daños son leves o moderados, tales que es posible repararlas, empleando diferentes técnicas de las cuales en cuanto a su efectividad no se poseen

suficientes datos técnicos, provocando así la necesidad del estudio de las mismas. La reparación permite recuperar tanto la capacidad estructural como la inversión que la vivienda representaba antes del sismo. Generalmente eso se da cuando el costo de la reparación es razonablemente menor al de demoler y reconstruir, es por ello que también es necesario realizar análisis de costos de las técnicas de reparación aplicadas.

No existe un reglamento que regule que técnicas usar o cuanto se permite recuperar con alguna de ellas a pesar que el “Reglamento para la seguridad estructural de las construcciones” exige que se dicten los requisitos mínimos para reparación, modificación o demolición de una construcción. El tema es bastante amplio por lo que en el transcurso de la investigación es una realidad el surgimiento de ideas, recomendaciones o hipótesis que den paso a nuevas investigaciones que generen nuevos conocimientos.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

Como se mencionó en el capítulo anterior el objetivo de la investigación es estudiar dos técnicas de intervención aplicadas a paredes de mampostería, para lograrlo es necesario adquirir conocimientos acerca de los tipos de mampostería, modos de falla y los niveles de daño a los que se ven expuestas las paredes ante la influencia de eventos sísmicos. Estos datos y el procedimiento para aplicar las técnicas seleccionadas para la investigación se muestran a continuación:

2.1 Sistemas de mampostería

La mampostería se define como un sistema de construcción que consiste en construir paredes, a base de unidades de bloques de concreto, ladrillos de barro cocido o piedra natural, comúnmente unidas por un material cementante, y que son capaces de resistir las acciones producidas por las cargas de gravedad y/o las acciones de sismo o viento. Dentro de los diferentes sistemas de mampostería tenemos:

- Mampostería confinada
- Mampostería simple
- Mampostería reforzada

Este último, siendo el tipo de sistema a estudiar en esta investigación, se describe a continuación:

2.1.1 Mampostería reforzada

En este sistema las paredes son construidas con piezas, ya sea de concreto o barro, las cuales poseen huecos que comúnmente son denominados celdas. Y son reforzadas mediante la colocación de barras de acero en posición vertical y horizontal, en el interior de las mismas. Si la cuantía del refuerzo tanto vertical como horizontal es adecuado, se puede lograr un comportamiento dúctil de la estructura. El acero de refuerzo tiene las siguientes funciones:

- Resistir esfuerzos de tensión, compresión y cortante.
- Anclar adecuadamente los elementos estructurales.

Mientras las paredes se encuentren en buen estado la contribución del acero de refuerzo a la resistencia no es significativa, pero sí lo es una vez que la mampostería se agrieta. Cuando esto sucede, el parámetro crítico es la resistencia a cortante, ya que, si se sobrepasa esa resistencia y no existe un adecuado refuerzo, puede resultar en el colapso de la estructura. Este fenómeno se puede describir de la siguiente forma: al agrietarse la mampostería, debido a los esfuerzos cortantes inducidos por un sismo, el refuerzo horizontal en las juntas actúa encargándose de evitar que el ancho de las grietas aumente, soportando así parte de los esfuerzos cortantes. Como ejemplo tenemos la Figura 2.1, en la cual se observa la formación de una grieta a 45° en el plano de una pared, producida por la aplicación de una fuerza lateral en la parte superior de la misma. Como puede apreciarse el refuerzo horizontal evita que el ancho de la grieta aumente, entrando en tensión directa.

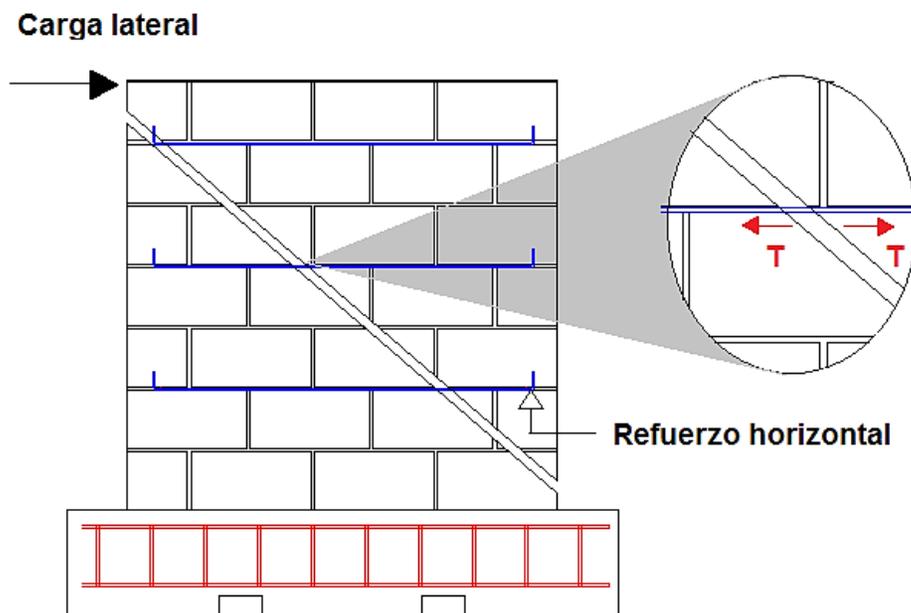


Figura 2.1: Contribución del refuerzo horizontal a la resistencia a cortante.

Pero a pesar que lo hace en mayor medida, no es únicamente el refuerzo horizontal el que interviene cuando se dan este tipo de fallas. Para comprender como actúa el refuerzo vertical ante los esfuerzos cortantes, se retomará el ejemplo anterior, al fallar la mampostería ante la acción de la carga lateral, se produce un deslizamiento entre ambas caras de la grieta generada, es entonces cuando el refuerzo vertical contribuye junto a las fuerzas de fricción impidiendo que dicho deslizamiento continúe (ver Figura 2.2).

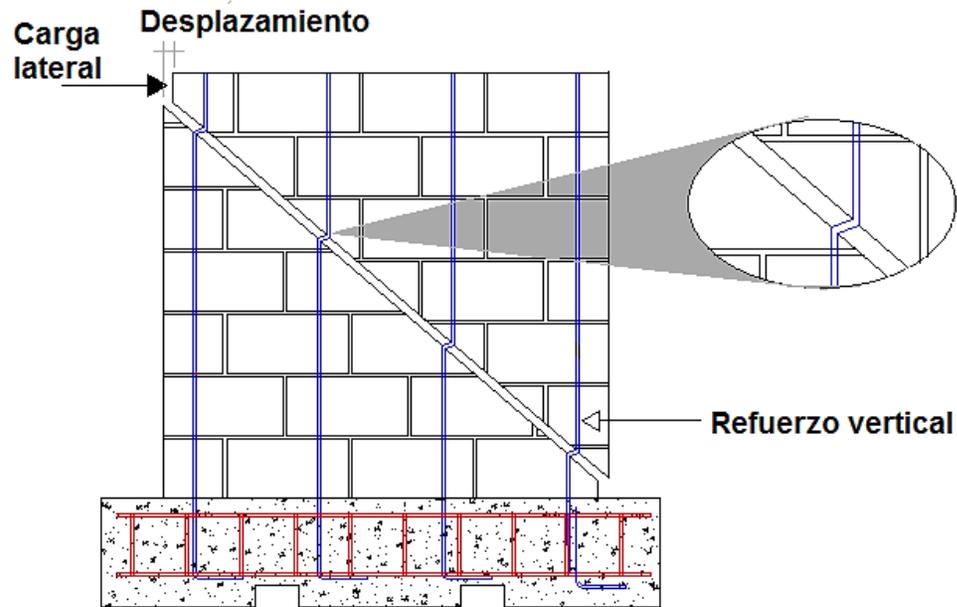


Figura 2.2: Contribución del refuerzo vertical a la resistencia a cortante.

Otro de los fenómenos en los que interviene el refuerzo vertical, son los esfuerzos de flexión en el plano, generados por eventos sísmicos. Retomando nuevamente los ejemplos anteriores, tenemos que, al aplicarse la carga lateral, la pared entrará en dos estados, mientras que el lado izquierdo actuará a tensión, el derecho entrará en compresión. Es bien sabido que el concreto como tal es un material frágil, que se comporta bien a compresión, más no así cuando se somete a tensión; es por ello que es una práctica común el aumentar la cuantía del refuerzo vertical en los extremos de las paredes, siendo el acero un material dúctil. Además, el refuerzo extra en los extremos de paredes contribuye a lograr un mejor anclaje con paredes perpendiculares a las mismas.

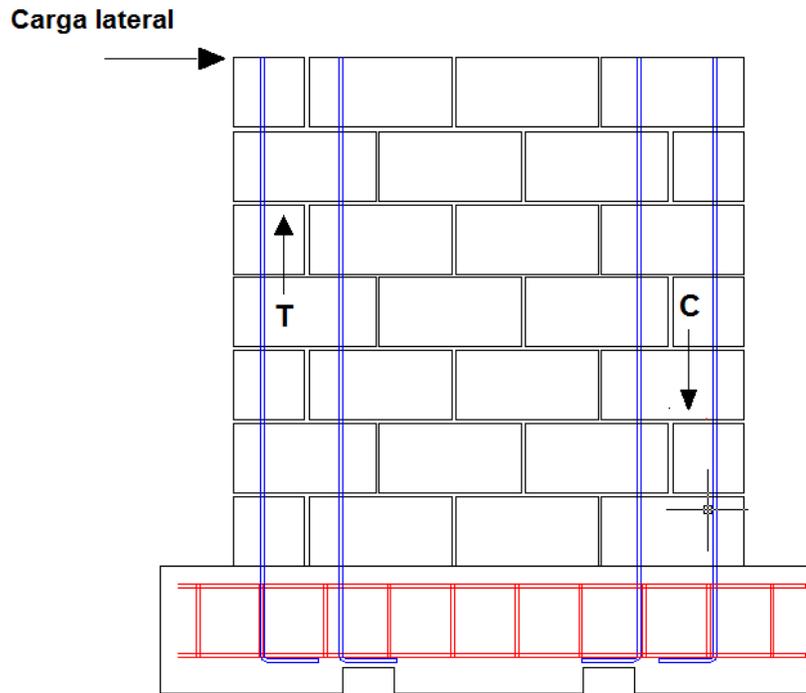


Figura 2.3: Contribución del refuerzo vertical a esfuerzos de flexión.

2.2 Agrietamiento de la mampostería

La causa más frecuente de falla en la mampostería (entendiendo como falla, a la alteración del nivel de desempeño o a la condición por la cual deja de cumplir una función) son las grietas en las paredes, y no el colapso.

Una grieta aparece cuando las deformaciones de la pared exceden la deformación de agrietamiento de la mampostería. La manera más sencilla para medir la anchura de una grieta es mediante la comparación de la grieta con marcas de diferentes anchuras pintadas en láminas plásticas (llamado comparador de grietas o grietómetro).



Figura 2.4: Comparador plástico de grietas o grietómetro.

2.3 Modos de falla de la mampostería

Las fallas en la mampostería son producto del agrietamiento de las piezas que la componen, debido a su comportamiento frágil y a la ruptura de las fuerzas de adherencia entre el mortero y las piezas. Es así que se identifican 3 modos de fallas:

2.3.1 Falla por cortante

Las fallas por cortante ocurren a bajos esfuerzos normales, y ocurren cuando se vence la fuerza de fricción entre el mortero y las piezas de la mampostería. El agrietamiento se desarrolla a lo largo de una junta o de forma escalonada, debido a la insuficiente fricción para contrarrestar el esfuerzo cortante aplicado a la pared, es por ello que a este modo de falla comúnmente se le conoce como “falla por cortante fricción”, ver Figura 2.5.

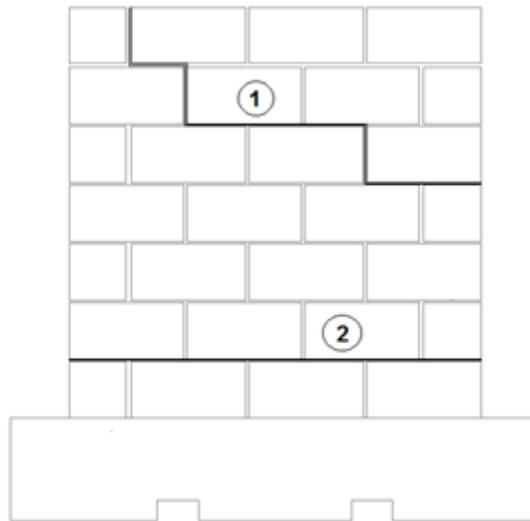


Figura 2.5: Falla por cortante fricción; (1) de forma escalonada, (2) deslizamiento.

Un factor importante a considerar en la capacidad de resistencia a cortante en las paredes es su relación de aspecto, es decir la relación del ancho y la altura de la pared (H/L). Estudios realizados por Voon e Ingham en 2006, demostraron que la resistencia a corte de la mampostería aumenta conforme se reduce su relación de aspecto. Alvares y Alcocer en 1994, propusieron la siguiente expresión para determinar la influencia de la relación de aspecto en la resistencia a cortante:

$$\frac{v}{v_o} = 1.35 - 0.35 \left(\frac{H}{L} \right) \quad [\text{Ec-2.1}]$$

En los casos en que los valores de los esfuerzos normales sean de medios a altos, las fallas de las piezas de mampostería debido a los esfuerzos de tensión inclinados que acompañan a los esfuerzos cortantes resultan comunes. Debido a que los esfuerzos a compresión normal en la pared son mayores, la fricción

entre las unidades y el mortero resulta mayor, en consecuencia, las grietas aparecen en las juntas verticales de mortero y en las piezas de mampostería con una inclinación que depende de la orientación del esfuerzo principal en el mismo, a este tipo de falla se le conoce como “*falla por tensión diagonal*” (ver Figura 2.6).

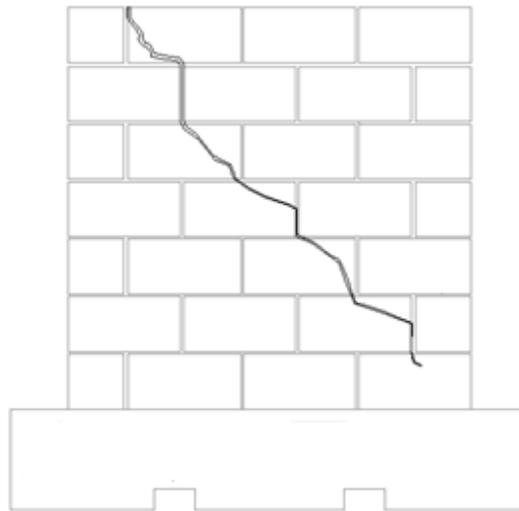


Figura 2.6: *Falla por tensión diagonal.*

2.3.2 Falla por compresión

En este tipo de falla la aparición de grietas verticales es predominante y se produce cuando existen valores muy altos de esfuerzo normales en comparación con el esfuerzo cortante ($f_n > 8\tau$ de acuerdo con resultados experimentales expuestos en: “*Crisafulli, Seismic Behaviour of reinforced concrete structures with masonry infills, Chistchurch, New Zeland, Cap. 4*”).

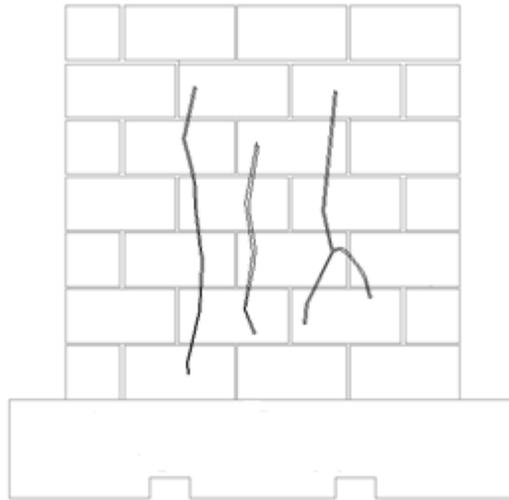


Figura 2.7: Falla por compresión.

2.3.3 Falla por flexión

Este tipo de falla aparece cuando los efectos de flexión son predominantes, en estructuras con baja resistencia a tensión. Las grietas se desarrollan en el lado que se encuentre a tracción de la pared, siendo de mayor longitud en su parte inferior y disminuyendo a medida aumenta la altura de la pared (ver Figura 2.8). Por lo general las cargas gravitacionales contrarrestan los efectos de los momentos de volteo. En el caso de las paredes de mampostería reforzada, el acero vertical en los extremos contribuye a resistir los efectos de la flexión.

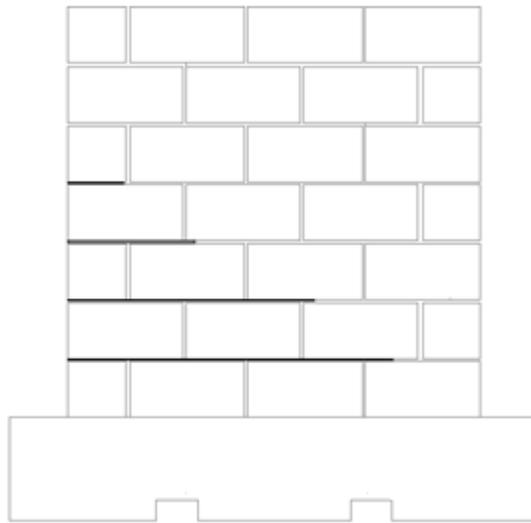


Figura 2.8: Falla por flexión.

Cuando las paredes están sometidas a esfuerzos de flexión producto de las cargas laterales en el plano, se genera un momento de volteo, dicho momento provoca que una parte de la pared entre en tensión mientras que la otra en compresión. Si los esfuerzos son muy grandes en el lado de la pared a compresión, puede producirse un aplastamiento en esa esquina, lo que se refleja con la ocurrencia de grietas verticales concentradas en esa zona tal como se muestra en la Figura 2.9.

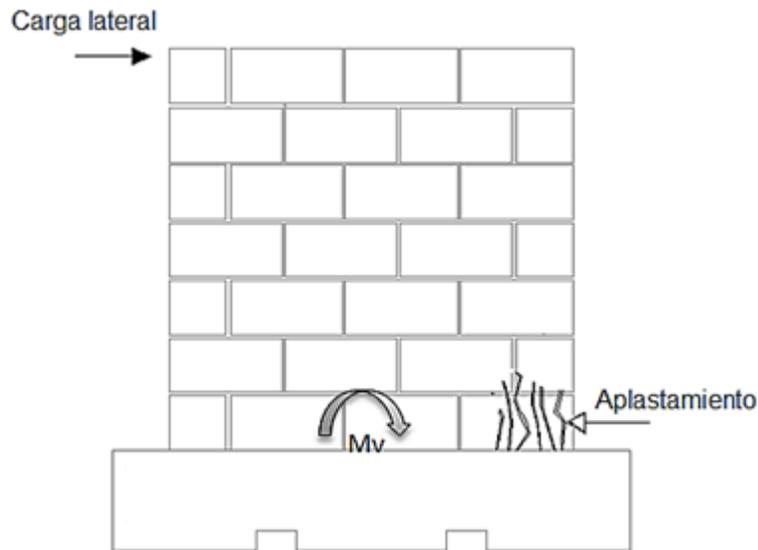


Figura 2.9: Falla por flexo-compresión.

2.4 Daño sísmico

2.4.1 Conceptos generales

El daño es el grado de degradación o deterioro de los elementos físicos de una estructura. Desde el punto de vista estructural generalmente se relaciona con las deformaciones irreversibles (Inelásticas), por lo tanto, una variable de daño debe referirse a una cierta cantidad de deformación. El nivel de daño que sufren los elementos estructurales depende de los valores que adquiere el desplazamiento lateral durante un sismo. Un menor nivel de respuesta implica menor nivel de daño.

2.4.2 Niveles de desempeño sísmico

El nivel de desempeño describe un estado límite de daño. Representa una condición límite o tolerable establecida en función de tres aspectos fundamentales:

- a) Los posibles daños físicos sobre los componentes estructurales y no estructurales.
- b) La amenaza sobre la seguridad de los ocupantes de la edificación, inducida por estos daños.
- c) La funcionalidad de la edificación posterior al terremoto

FEMA 273 establece diferentes niveles de desempeño tanto para elementos estructurales como no estructurales. A continuación, se describen los principales niveles de desempeño para los elementos estructurales:

- **Nivel de desempeño de ocupación inmediata (S-1)**

Es el estado de daños tras un terremoto en el que se ha producido sólo daños estructurales muy limitados. Los sistemas verticales, y laterales sismo-resistentes del edificio conservan casi toda la resistencia y rigidez que poseían antes del terremoto. El riesgo de lesión o peligro de la vida como resultado de daños estructurales es muy bajo, y aunque algunas reparaciones estructurales menores pueden ser apropiadas, éstas generalmente no son necesarias antes de la reocupación.

- **Control de daños, S-2**

El estado de control de daños en una serie de estado de transición entre los niveles ocupación inmediata (S-1) y el nivel seguridad de vida (S-3). Es de utilidad

para disminuir los costos de reparación e interrupción en el funcionamiento del edificio luego del sismo y a la vez poder preservar su importancia histórica cuando el costo para establecer un nivel de desempeño de S-1 es demasiado costoso.

- **Nivel de Desempeño de Seguridad de Vida (S-3)**

Es el estado de daños tras un terremoto en el que se ha producido un daño significativo a la estructura, pero se conserva cierto margen en contra de cualquier colapso estructural parcial o total. Algunos de los elementos estructurales y los componentes están gravemente dañados, pero esto no ha dado lugar a grandes peligros de caída de escombros, ya sea dentro o fuera del edificio. Las lesiones pueden ocurrir durante el terremoto; sin embargo, se espera que el riesgo total de lesiones que repercutan en peligro a la vida, como resultado de daños estructurales sea bajo. Debe ser posible reparar la estructura; sin embargo, por razones económicas esto puede no ser práctico. Mientras que la estructura dañada no presenta un riesgo inminente de colapso, sería prudente para implementar las reparaciones estructurales antes de que los usuarios de la edificación regresen a ocuparla.

- **Seguridad limitada, S-4**

Es estado de control de daños en una serie de estado de transición entre el nivel de Seguridad de Vida (S-3) y el nivel prevención de colapso (S-5).

- **Nivel de Desempeño de prevención del colapso (S-5)**

Es aquel en el que el edificio está a punto de sufrir un colapso parcial o total. Daños sustanciales a la estructura se han producido, que pueden incluir una degradación significativa en la rigidez y la resistencia del sistema lateralmente resistente, ocurre una gran deformación lateral permanente de la estructura, y una degradación en la capacidad de soporte de carga vertical. Sin embargo, todos los componentes importantes del sistema resistente a cargas gravitacionales deben seguir transmitiendo sus demandas de carga gravitacional. Puede existir un riesgo significativo de lesión debido a la caída de peligrosos desechos estructurales. Asimismo, que la estructura no sea técnicamente reparable y no es seguro que se vuelva a ocupar, debido a la posible ocurrencia de réplicas del sismo que podrían inducir al colapso.

2.4.3 Niveles de daño para paredes de mampostería reforzada según FEMA 273
FEMA 273 incluye una descripción exhaustiva de los niveles de daño, asociados a cada uno de los niveles de desempeño en diferentes sistemas estructurales. La Tabla 2.1 resume las principales características asociadas a los niveles de desempeño de la estructura, derivas y su relación con los estados discretos de daño en paredes de mampostería reforzada.

Elemento	tipo	Niveles de desempeño estructural		
		Prevención del colapso S-5	Seguridad de vida S-3	Ocupación inmediata S-1
Paredes de mampostería reforzada	primario	Aplastamiento; agrietamiento extenso. Daños en aberturas y esquinas. Algunas unidades fallan.	Agrietamiento extensivo menor a 1/4" de ancho distribuidos a lo largo de la pared. Algunos aplastamientos aislados	Agrietamiento menor a 1/8" de ancho. Sin salir del plano
	Deriva	1.5 % transitoria o permanente	0.6% transitoria o permanente	0.2% transitoria 0.2% permanente

Tabla 2.1: Niveles de desempeño y daños estructurales. Fuentes: FEMA, A. T. (1997), "nehrp guidelines for the seismic rehabilitation of buildings," FEMA 273.

2.4.4 Niveles de daño para paredes de mampostería reforzada según FEMA 306

FEMA 306 se ha basado en la experimentación, observación y en las investigaciones de campo realizadas a edificaciones dañadas por sismos, obteniendo así tablas de niveles de daños y modos de comportamiento típicos para diferentes componentes. A partir de estudios estadísticos, en los que se ensayaron paredes de mampostería, se establecieron los llamados factores de modificación estructural " λ ". Estos factores representan el porcentaje de modificación de las propiedades de la mampostería, con respecto a las condiciones originales, en diferentes niveles de daño.

Los factores de modificación estructural expuestos en FEMA 306 son los siguientes:

λ_k : Factor de modificación que representa el cambio en la rigidez inicial, resultante de los daños producidos por el sismo.

λ_Q : Factor de modificación que representa el cambio en la resistencia, producto de los daños producidos por el sismo.

La Figura 2.10 ilustra de manera general la relación entre la severidad del daño y los factores de modificación. La rigidez de los componentes es más sensible a los daños, por lo que este parámetro se ve afectado aun cuando el daño es leve. Más no así la resistencia, ya que la reducción de la misma ocurre ante daños más significativos.

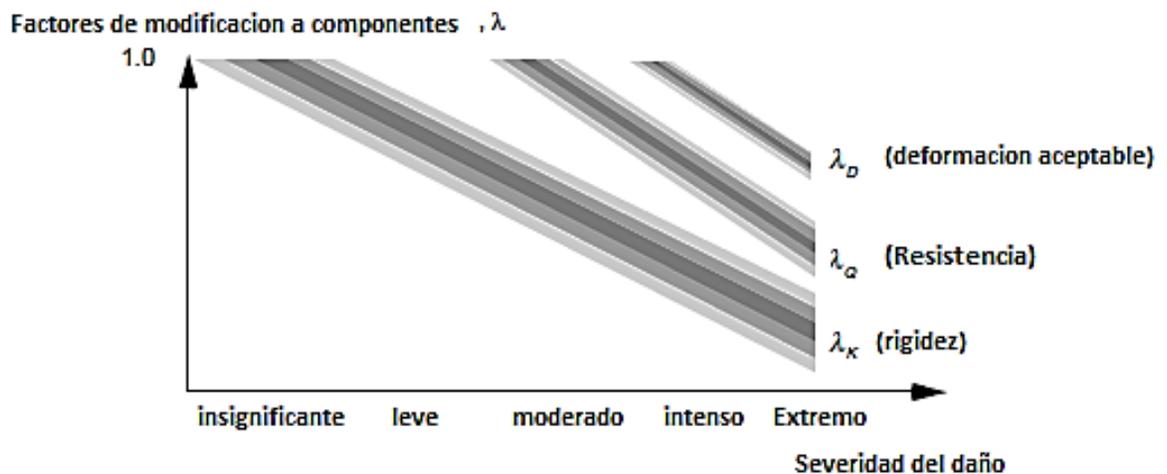
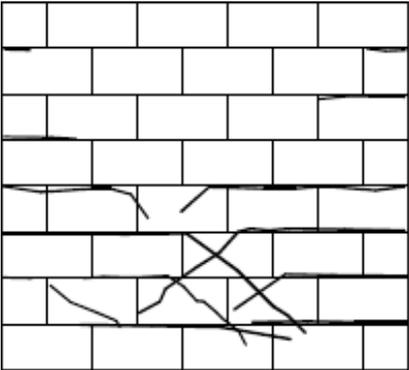


Figura 2.10: Factores de modificación de los componentes y la severidad del daño.
Fuentes: FEMA, A. T. (1998), "Evaluation of earthquake damaged Concrete and masonry wall buildings". FEMA 306. Pág. 68.

FEMA 306 etiqueta como componentes *RM2*, a las paredes de mampostería reforzada con un comportamiento cortante/flexión, donde la falla por cortante es la más probable. La Tabla 2.2 presenta la clasificación del daño con su apariencia típica, ancho de grieta máximo, posibles medidas de restauración, factores de modificación para componentes dañados (λ), y factores de modificación para elementos restaurados (λ^*), para este tipo de componente.

Daño	Descripción del daño	Rendimiento de las medidas de restauración
<p>Insignificante $\lambda_k = 0.8$ $\lambda_Q = 1.0$</p>	<p>Criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> Anchos de grietas no exceden $1/16$ de pulgada (1.6 mm) No hay aplastamiento significativo <p>Apariencia típica:</p> 	<ul style="list-style-type: none"> No es necesaria la restauración estructural. Pueden ser necesarias medidas cosméticas
<p>Leve $\lambda_k = 0.6$ $\lambda_Q = 1.0$</p>	<p>Criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> Anchos de grietas no exceden $1/8$ de pulgada (3.2 mm) No hay aplastamiento significativo o agrietamiento vertical <p>Apariencia típica: Similar a los daños insignificantes, excepto que las grietas son más anchas y el agrietamiento es más extenso</p>	<p>Inyección de grietas $\lambda_k^* = 0.9$ $\lambda_Q^* = 1.0$</p>

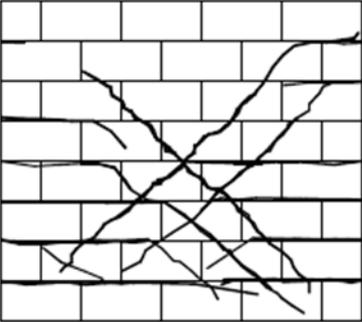
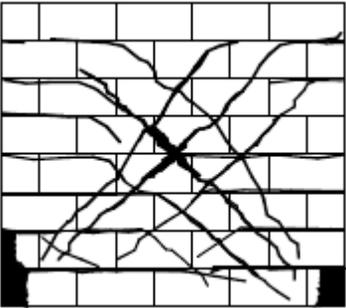
<p>Moderado $\lambda_k = 0.4$ $\lambda_Q = 0.8$</p>	<p>Criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anchos de grietas no exceden $3/16$ de pulgada (4.8 mm) • Aplastamiento moderado de las unidades de mampostería o grietas verticales en los extremos inferiores de la pared • Refuerzo no dañado • No hay desplazamiento residual significativo <p>Apariencia típica:</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Parcheo de mampostería y retirar el concreto suelto. Inyectar grietas. • Considerar usar compuesto de fibras $\lambda_k^* = 0.8$ $\lambda_Q^* = 1.0$
<p>Extremo</p>	<p>Criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • acero de refuerzo dañado • amplia fisuración por flexión normalmente mayor a $1/4$ de pulgada • agrietamiento diagonal normalmente concentrado en una o dos grietas • amplio aplastamiento en los extremos inferiores de la pared <p>Apariencia típica:</p> 	<p>Es necesario una sustitución o mejora extensa</p>

Tabla 2.2: Factores de modificación y clasificación del daño. Fuentes: FEMA, A. T. (1998), "Evaluation of earthquake damaged Concrete and masonry wall buildings". FEMA 306 pág. 130.

En este trabajo de investigación experimental, se retomará lo dispuesto en FEMA 306, donde se establece que, en un nivel de daño moderado, aún es factible aplicar las técnicas de intervención estructural sin sustituciones o mejoras extensas, ya que el acero de refuerzo aún no ha fallado. Se estima que el elemento estructural habrá perdido aproximadamente el 60% de su rigidez inicial. Visualmente se podrá identificar con el inicio de pequeños aplastamientos en los extremos inferiores de la pared o pequeñas grietas verticales. Las grietas no deberán exceder de 5 mm de ancho. Y como lo establece FEMA 273, se encontrará entre el nivel de desempeño de ocupación inmediata (S-1) y seguridad de vida (S-3) con una distorsión entre 0.2% y 0.6%.

2.5 Rehabilitación de estructuras.

Una rehabilitación consiste en la intervención que se puede realizar a una estructura cuando se requiere modificar la respuesta ante alguna sollicitación y modificar sus propiedades mecánicas, producto que la estructura por una u otra razón demuestre, por medio de un análisis, que resulta deficiente para soportar las cargas o sollicitaciones que se estima tendrá que resistir, o cuando la estructura o elemento resulta dañado, generalmente por cargas sísmicas.

En cualquiera de los dos casos, se puede definir un conjunto de circunstancias cuando es necesario comenzar una rehabilitación, estas pueden ser que las cargas gravitacionales se aumenten en un 20%, cuando el sistema estructural se

cambia por una u otra razón, o cuando existen daños considerables en el sistema estructural. La rehabilitación puede incluir las siguientes actividades:

Reparación: Proceso mediante el cual se restaura las características estructurales originales de un edificio, o de sus elementos constitutivos, que han sufrido daño producto de un evento sísmico o cualquier otro.

Refuerzo: Proceso con el cual las características estructurales originales de un edificio, o de sus elementos constitutivos, se mejoran respecto a la condición original, sin que necesariamente presente daños causados por eventos sísmicos u otros efectos.

Reconstrucción: Proceso con el cual se reconstruyen partes gravemente afectadas de un edificio, ya sea por causa de evento sísmico o por cualquier otro efecto, y que pretende proporcionar características estructurales iguales o superior a las que tenía originalmente.

- **Tipos de intervención en un edificio**

La intervención puede incluir uno o la combinación de los siguientes tipos:

- ✓ Reducir la masa o restringir el uso del edificio
- ✓ Modificar el sistema estructural, mejorando la configuración y los elementos
- ✓ Adicionar nuevos elementos estructurales (por ejemplo, nuevas soleras de coronamiento sobre las paredes)

- ✓ Modificar local o globalmente los elementos con y sin daño
 - ✓ Reemplazar los elementos inadecuados o severamente dañados
 - ✓ Redistribuir los efectos de las acciones, por ejemplo, renivelando una estructura
 - ✓ Demoler total o parcialmente la estructura.
- **Selección de las técnicas de rehabilitación a utilizar.**

Para la selección de las técnicas a estudiar en esta investigación, se retomará la matriz de decisión utilizada en el trabajo de graduación “Métodos de Reparación en Edificaciones de Bloque de Concreto con Refuerzo Integral” [Salazar, Valencia & Vigil, 2014, págs. 43-44].

En la cual se evalúan las principales técnicas de intervención, utilizadas en mampostería reforzada. En las Tablas 2.3 y 2.4 se muestran los parámetros utilizados y los resultados obtenidos.

Como se puede apreciar, las técnicas del encamisado de paredes y el parcheo estructural son las mejor evaluadas, por lo que serán el objeto de investigación en este estudio.

Puntuación	1	2	3
Efectividad en la recuperación de la resistencia	Baja recuperación de resistencia o no se cuenta con información.	Recuperación de resistencia hasta niveles aceptables	Excelente recuperación o mejoramiento de resistencia
Nivel de daño aplicable.²	Aplicable a anchos de grieta menores a los 3mm.	Aplicable a anchos de grieta menores a los 5mm.	Anchos de grieta superior a los 5mm.
Simplicidad del equipo a utilizar	Se requiere equipo muy especializado.	Se requiere equipo medianamente especializado.	El equipo requerido es muy simple.
Requerimiento de mano de obra especializada	Se requiere mano de obra muy calificada	Se requiere mano de obra medianamente calificada	No se requiere mano de obra calificada
Facilidad de adquisición del material de reparación.	Baja facilidad	Facilidad media	Alta facilidad
Estética final.	La estructura cambia completamente su estética	La estética es medianamente afectada	La estética es poca o nulamente afectada.

Tabla 2.3: Criterios de puntuación de las técnicas de intervención.

	Encamisado de muros	Parcheo Estructural	Inserción de barras de refuerzo	Flejes tensados
Efectividad en la recuperación de la resistencia	3	1	1	3
Nivel de daño aplicable.	3	3	3	2
Simplicidad del equipo a utilizar	2	3	2	1
Requerimiento de mano de obra especializada	2	3	1	2
Facilidad de adquisición del material de reparación	3	3	3	2
Estética final.	2	3	1	3
PUNTAJE FINAL	15	16	11	13

Tabla 2.4: Matriz de decisión para las técnicas de intervención.

² Este criterio está basado en el documento: “Evaluación de nivel de daño en viviendas afectadas por sismo” de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS.

2.5.1 Técnica del Parcheo estructural

Una de las técnicas con mayor uso en la reparación de paredes de bloque de concreto, es precisamente el parcheo estructural, algunas de las razones son las siguientes:

- No requiere un equipo especializado para su aplicación.
- Puede ser utilizado en paredes de bloque de concreto, que tienen celdas huecas.
- La estética original de la pared es poco alterada, y
- El costo lo rige el material de relleno que se utilice.

La técnica de reparación consiste en retirar las partes dañadas del elemento y sustituirlas con un material de relleno.

2.5.1.1 Método de aplicación

Las etapas en el proceso de reparación mediante la técnica del parcheo estructural, son las siguientes:

- a) Verificación de la verticalidad
- b) Identificación de grietas
- c) Picado de grietas
- d) Limpieza y humectación de zonas donde se colocará el material de reparación.
- e) Colocación del puente adherente
- f) Colocación de material de reparación
- g) Curado

A continuación, se describe cada una de estas etapas:

a) Verificación de la verticalidad

Mientras los daños producidos por sismos en viviendas de mampostería reforzada no sean severos, se espera que los desplomes en las paredes sean mínimos. La verificación de la verticalidad es esencial, ya que, de existir inclinaciones significativas en las paredes, podría ser necesaria otra alternativa de rehabilitación, como por ejemplo reconstrucciones parciales combinadas con reparaciones en las zonas donde las inclinaciones con respecto a la vertical se consideren tolerables. El comité ACI 530.1: “Especificaciones para estructuras de mampostería”, establece las siguientes tolerancias de desplome:

Altura	Desplome
En 10 pies (3.05 m)	¼ pulgada (6.4 mm)
En 20 pies (6.10 m)	3/8 pulgada (9.5 mm)
Para alturas superiores.	1/2 pulgada (13 mm)

Tabla 2.5: tolerancias en desplomes de estructuras de mampostería.

b) Identificación de grietas

Las grietas residuales en una pared dañada deben ser minuciosamente identificadas, evitando que aquellas que no son fácilmente visibles no sean tomadas en cuenta. Una buena práctica es resaltarlas con un marcador.

c) Picado de grietas

Se debe realizar a lo largo de toda la grieta, en forma de “V”, con una inclinación no mayor a 45° con respecto al plano de la pared. A este procedimiento se le conoce como “avivado de la grieta”. Es conveniente antes de iniciar este proceso marcar el ancho a picar. Si existe aplastamiento en unidades de mampostería se deben retirar las partes dañadas. En la Figura 2.11 se muestra el corte en V que se debe realizar para el relleno.

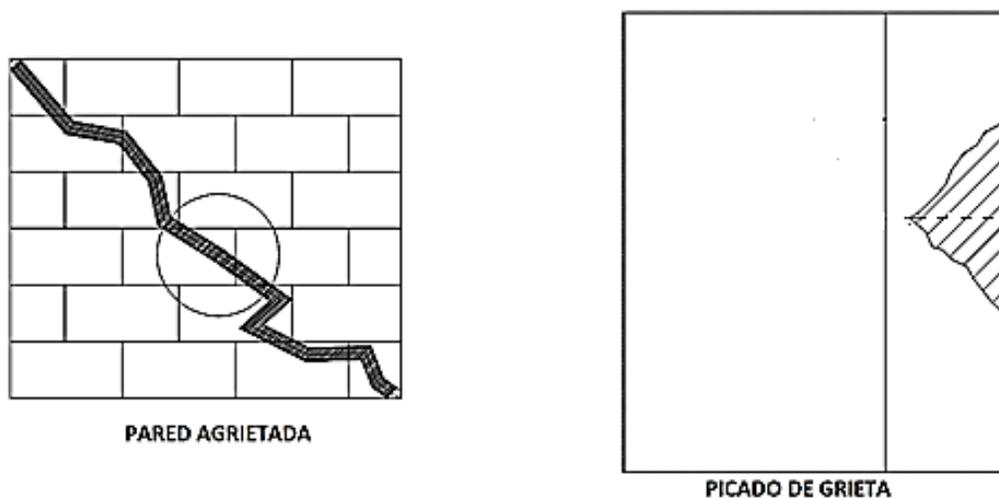


Figura 2.11: Picado de grietas.

El picado de las grietas debe iniciarse desde la parte baja de las paredes hacia la parte superior, es indispensable tomar en cuenta que el proceso del parcheo deberá ser por etapas, es decir, se iniciará reparando aquellas grietas que se consideren que luego de ser intervenidas aportarán en mayor medida a la recuperación de la rigidez. Una vez sean reparadas y se hayan seleccionado las próximas grietas a intervenir se continuará con la siguiente etapa. La selección

de las grietas, así como la cantidad de ellas en cada etapa debe ser siempre atendiendo a la búsqueda de no comprometer la estabilidad de la edificación.

Cuando las grietas se encuentren en las unidades con celdas vacías, la profundidad a picar será igual al espesor del tabique. Sí las grietas se encuentran en las unidades con celdas llenas existen dos posibilidades: la primera, que la profundidad del picado sea igual al ancho del tabique, y la segunda, que la profundidad se extienda hasta picar parte del grout. En el trabajo de graduación denominado “Reparación de Viviendas de Bloque de Concreto Mediante el Método del Parcheo Estructural” [Merino, Rivera & Villalobos, 2016], se estudiaron experimentalmente ambas posibilidades de reparación en unidades con celdas llenas, y observaron que los resultados eran muy similares entre sí, tomando esto en cuenta, la profundidad del picado en unidades con celdas llenas, se hará igual al espesor del tabique.

Cuando se deban picar grietas en las sisas, se deberá remover no solo el mortero de la sisa, si no también parte de la unidad de mampostería (ver Figura 2.12). Sí se producen grietas entre la pared y la solera de fundación se deberá picar también la cimentación.

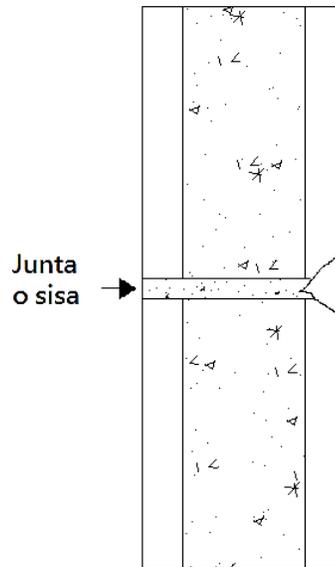


Figura 2.12: picado de grietas en juntas de mortero.

d) Limpieza y humectación de zonas donde se colocará el material de reparación.

La superficie debe estar completamente limpia, libre de polvo, material suelto o mal adherido, contaminantes superficiales y materiales que puedan reducir la adherencia. Esto se puede realizar con el paso de un cepillo de alambre en la zona a picar. Antes de colocar cualquier producto, es necesario, saturar el área a reparar especialmente si se tienen bloques con valores de absorción elevados, con el fin de que el material de relleno a colocar no pierda agua.

e) Colocación del puente adherente

El trabajo del puente de adherencia consiste en mejorar la unión entre el material de relleno y la mampostería, ya que su consistencia le permite anclarse a las rugosidades y poros de ambos materiales, ver Figura 2.13.

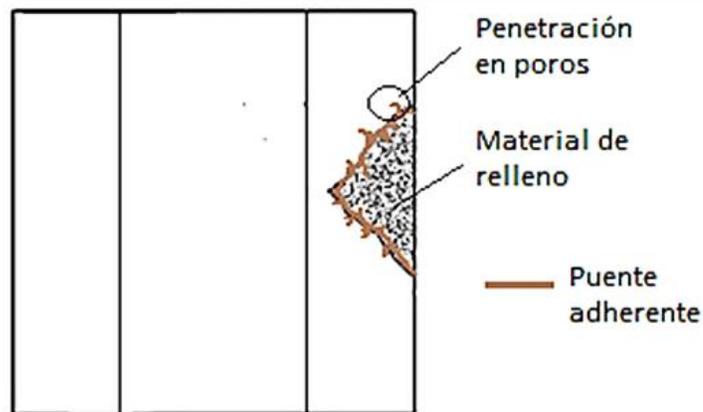


Figura 2.13: Anclaje del puente adherente en los poros del material de relleno y el bloque de concreto.

Las fallas en el puente de adherencia pueden producirse de 3 formas:

- Falla por adhesión: Se produce cuando ante los efectos de los esfuerzos cortantes, el puente es incapaz de mantenerse adherido a uno de los componentes, ya sea al material de relleno (Ver Figura 2.14 literal a), o a la mampostería. (Ver Figura 2.14 literal b).
- Falla por cohesión: se presenta cuando la resistencia a cortante y tensión del puente de adherencia es inferior a la de las unidades de mampostería y al del material de relleno de grietas, y se manifiesta como la ruptura del puente, dejando los restos del adhesivo en ambos materiales. (Ver Figura 2.14 literal c).
- Falla mixta: se presenta como una combinación de las fallas por adhesión y cohesión. (Ver Figura 2.14 literal d).

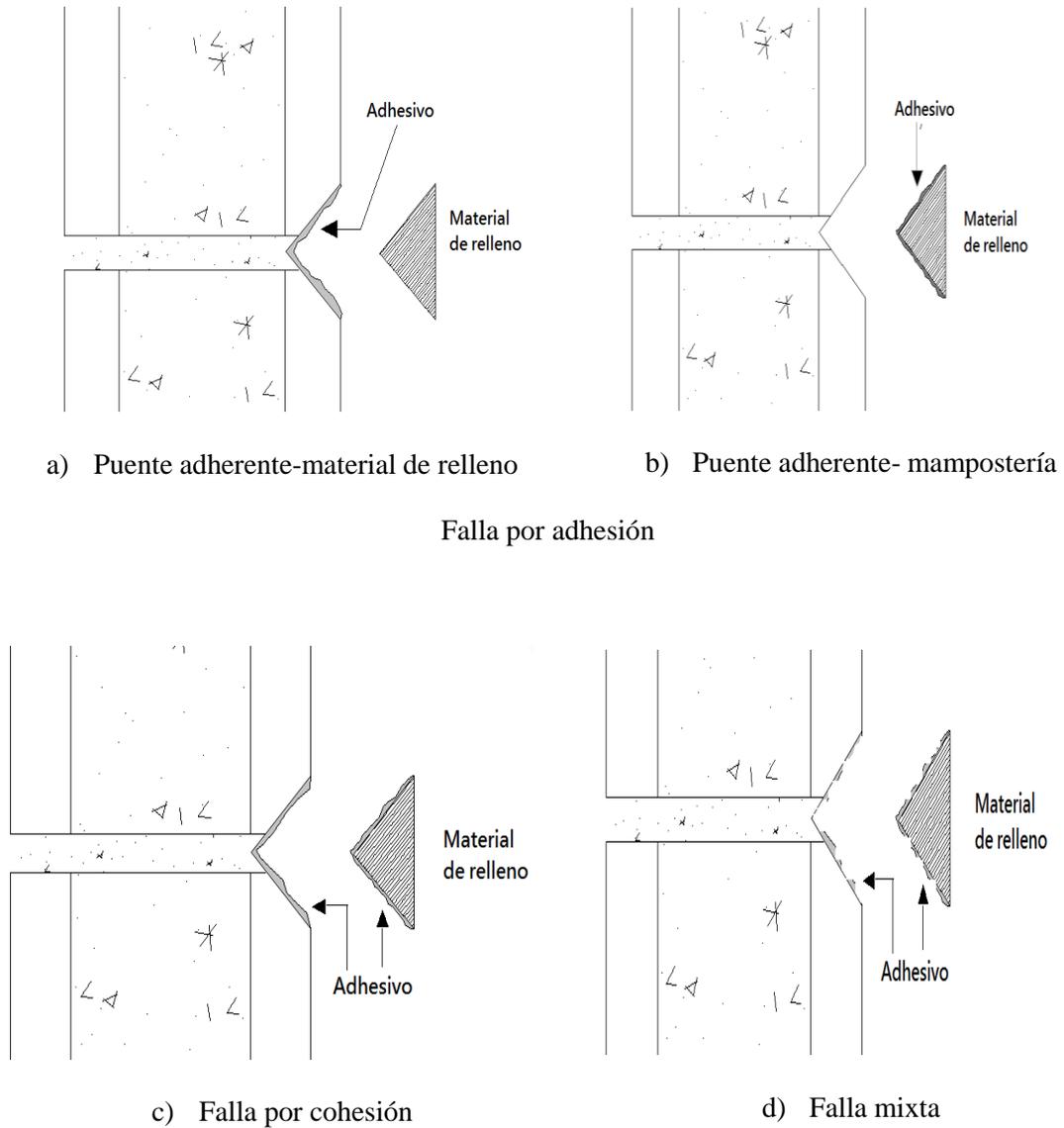


Figura 2.14: Tipos de falla del puente adherente.

Ante los efectos de esfuerzos cortantes inducidos por eventos sísmicos, no deberían presentarse las fallas anteriores, lo ideal es que la formación de grietas ocurra en zonas diferentes a aquellas donde se ha realizado el parcheo estructural.

El adhesivo a utilizar como puente adherente debe cumplir con los lineamientos de la Norma ASTM C881-02: “Sistema de Base de Adhesión de Resina Epóxica para Concreto” La forma de preparación, colocación y tiempo de la misma debe ser según lo indicado en la hoja técnica del producto.

f) Colocación de material de reparación

Se procede a realizar el llenado de las grietas, garantizando que no queden espacios vacíos dentro de la misma, es importante que este quede distribuido uniformemente, evitando dejar abultamientos en la superficie, ver Figura 2.15.

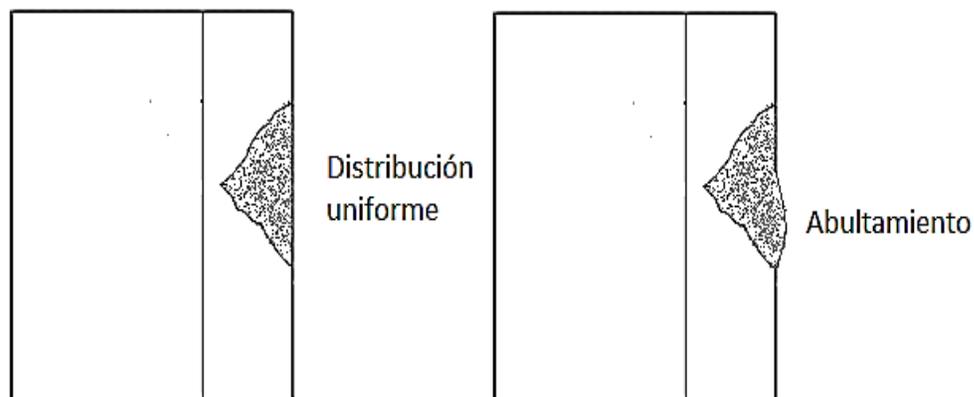


Figura 2.15: colocación del material de relleno.

Como material de relleno se recomienda el uso de morteros que cumplan con los requisitos de la “Norma europea EN 1504, Parte 3: Reparación estructural y no estructural de estructuras de hormigón”. En el caso de reparaciones estructurales dicha norma especifica los siguientes requisitos para el mortero a utilizar:

Características	Método de ensayo	Tipo de concreto a reparar	
		Alta resistencia	Resistencia media
Resistencia a compresión	EN 12190	≥ 45 MPa	≥ 25 MPa
Módulo de elasticidad	EN 13412	≥ 20 GPa	≥ 15 GPa
Adherencia	EN 1542	≥ 2 MPa	≥ 1.5 MPa
Contenido de ion cloro	EN 1015-17	$\leq 0.05\%$	
Absorción capilar	EN 13057	$\leq 0,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$	
Resistencia a la carbonatación	EN 13295	$d_k \leq$ concreto de control	
Compatibilidad Térmica.	EN12617-4	Adherencia tras 50 ciclos	
Enfriamiento brusco		≥ 2 MPa	≥ 1.5 MPa
Compatibilidad Térmica.	EN 12617-4	Adherencia tras 30 ciclos	
Ciclos térmicos en seco		≥ 2 MPa	≥ 1.5 MPa

Tabla 2.6: Requisitos del mortero de reparación estructural.

Fuente: "Norma europea EN 1504, Parte 3: Reparación estructural y no estructural de estructuras de hormigón".

Siempre y cuando atienda la disposición anterior, cualquier mortero comercial pre-dosificado será adecuado para realizar la técnica del parcheo estructural. En cuanto a la forma y tiempo de colocación del mismo, se deberá seguir las instrucciones establecidas por el fabricante.

g) Curado

Es importante realizar un curado adecuado, especialmente a edades tempranas. La ganancia de resistencia con respecto al transcurso del tiempo dependerá del producto utilizado, y se encontrará en las especificaciones del mismo.

2.5.2 Encamisado con malla metálica

El término encamisado se refiere al aumento de la sección transversal del elemento estructural mediante la colocación de una capa de concreto, mortero o un material similar, reforzado con barras de acero convencionales, mallas de alambre electrosoldadas, mallas o bandas sintéticas u otras. Es común que cuando se emplean bandas sintéticas no se utilice un material de recubrimiento. Una desventaja del encamisado de paredes, es que la apariencia de la estructura se modifica, lo cual resulta inconveniente cuando la edificación goza de un valor estético o histórico.

Sin duda alguna, la manera más confiable, eficiente y económica de aplicar esta técnica es la colocación de mallas metálicas, preferentemente electrosoldadas o hechas con barras convencionales, adecuadamente ancladas a las paredes y recubiertas con mortero o concreto lanzado. Algunas de las ventajas de esta técnica, son que la supervisión en el proceso de construcción es fácil y no necesita mano de obra calificada.

2.5.2.1 Resistencia a cortante

Las “Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCM México, 2004)”, establecen que, para fines de diseño, la resistencia a cortante (V_u) de una estructura o elemento estructural, reforzada/o con malla de alambre y recubrimiento de mortero, puede calcularse con la ecuación 2.2.

$$V_u = V_{mR} + V_{sm} \quad [\text{Ec-2.2}]$$

Dónde:

V_{mR} : Resistencia a cortante de la mampostería

V_{sm} : Contribución de la malla de alambre

Se supone que, con la reparación previa a la colocación de la malla y el recubrimiento con mortero, la mampostería recupera parte de su resistencia original, pero debido a que no se tienen datos precisos, para determinar dicha resistencia, se recomienda reducir V_{mR} en un 50% [Flores y otros, 2012]. Modificando la ecuación 2.2 como sigue:

$$V_u = 0.5 V_{mR} + V_{sm} \quad [\text{Ec-2.3}]$$

✓ Contribución de la mampostería

Según la NTCM la capacidad remanente estará definida por el nivel de acciones con la cual el elemento estructural alcanza su primer estado límite de falla o de servicio, dependiendo del tipo de revisión que se lleve a cabo.

La resistencia a cortante de la mampostería será:

$$V_{mR} = F_R(0.5v_m A_T + 0.3P) \leq 1.5F_R v_m A_T \quad [\text{Ec-2.4}]$$

Dónde:

F_R : Factor de resistencia, para predicción de ensayos se toma igual a 1.0

V_m : Resistencia a compresión diagonal de la mampostería

A_T : Área Transversal de la pared

P : Carga axial sobre la pared.

✓ Contribución de malla de alambre y el mortero

En la participación de la malla de alambre solo se consideran los alambres horizontales, la contribución de estos a la resistencia se puede calcular con la ecuación 2.5:

$$V_{sm} = \rho_h f_y A_T \eta_h \quad [\text{Ec-2.5}]$$

Dónde:

ρ_h : Cuantía del refuerzo horizontal

f_y : Resistencia nominal de fluencia de los alambres de la malla

A_T : Área bruta de la sección transversal de la pared

η_h : Factor de eficiencia de los alambres horizontales.

Para el caso de paredes reforzadas con mallas metálicas, la NTCM establecen que el factor de eficiencia del refuerzo horizontal, η , se determinará con el siguiente criterio:

$$\eta = \begin{cases} 0.6 ; & \text{si } p_h f_{yh} \leq 0.6 \text{ MPa (6 kg/cm}^2\text{)} \\ 0.2 ; & \text{si } p_h f_{yh} \geq 0.9 \text{ MPa (9 kg/cm}^2\text{)} \end{cases}$$

Dónde:

f_{yh} : Resistencia nominal de fluencia de los alambres horizontales de la malla.

Para valores de $P_h f_{yh}$ comprendidos entre 0.6 y 0.9 MPa (6 y 9 kg/cm²), η se hará variar linealmente, tal como se muestra en la Figura 2.16.

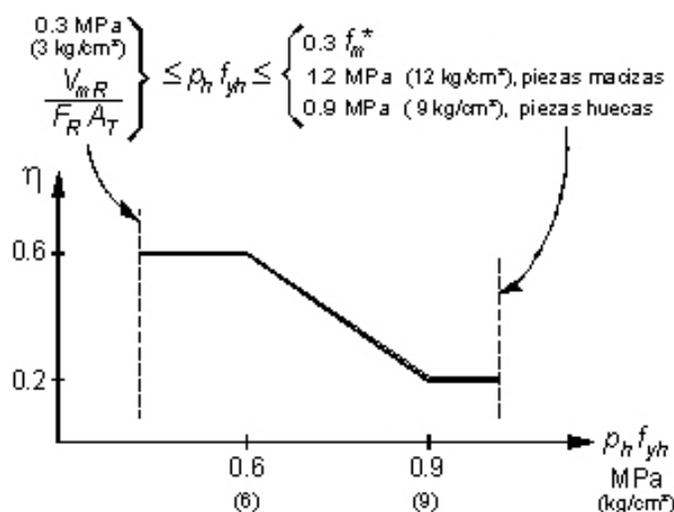


Figura 2.16: Factor de eficiencia de los alambres horizontales.

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, (P 29).

En la NTCM no se considera la contribución de la capa de mortero para la resistencia lateral.

2.5.2.2 Método de aplicación

El método puede resumirse en tres etapas:

1. Limpieza y reparación de grietas
2. Colocación de malla metálica

3. Colocación de la capa de mortero o concreto lanzado

A continuación, se describe cada una de estas etapas

1. Limpieza y reparación de grietas

Es necesario retirar los fragmentos de piezas sueltas, principalmente en las zonas dañadas. Se sugiere remover el polvo y las partículas en el interior de las grietas mediante un chorro de agua. Para fomentar la adherencia entre la mampostería y el recubrimiento del mortero, la superficie debe estar libre de cualquier acabado (mortero, pintura, etc.) y con rugosidades.

Se recomienda restaurar las grietas inclinadas en la superficie de la pared atendiendo el procedimiento visto en el parcheo estructural, con la diferencia que como material de relleno de grietas se puede utilizar un mortero de cemento convencional. Y en zonas muy dañadas es recomendable sustituir las piezas agrietadas por nuevas piezas. Cuando la anchura de las grietas sea inferior a 0.5 mm es conveniente utilizar una lechada de cemento (mezcla fluida de cemento y agua). No se considera necesario el uso de resinas para el relleno de grietas.

2. Colocación de malla metálica

Las mallas se pueden fijar directamente sobre las caras de la pared, o bien usando separadores. Según las NTCM la malla debe ser continua a lo largo de toda la pared, evitando traslapes. En los casos donde las dimensiones de las paredes lo demanden se permitirá la unión de mallas, y el traslape no deberá ser inferior a dos veces la separación de los alambres transversales más 5 cm. Se

debe rodear con la malla, los bordes verticales en las intercepciones de las paredes, y las aberturas de puertas y ventanas. Cuando esta no se pueda doblar debido a su diámetro, se permiten utilizar mallas de menor calibre en forma de “L” o “C” según sea el caso, traslapadas con las mallas principales.

- Anclajes

Un aspecto importante para que el encamisado con mallas metálicas funcione de la manera esperada, es el correcto anclaje del mortero y la malla a la mampostería, los elementos de anclaje o conectores pueden atravesar la pared en todo su espesor o solo parte de él, con el uso de varillas de acero convencional o clavos respectivamente, ver Figura 2.17.

Los anclajes como tal no muestran mayor participación, sino hasta que inicia la falla de la adherencia entre la capa de mortero y la mampostería, debido a los esfuerzos cortantes inducidos durante los eventos sísmicos. La función de los conectores es entonces permitir una falla más dúctil del sistema.

Para paredes fabricadas con piezas huecas, se ha estudiado el uso de alcayatas³ fabricadas con acero de bajo carbono (tipo A36) o de barra corrugada de refuerzo convencional, para anclar la malla electrosoldada. Dichos estudios elaborados en el CENAPRED [Flores y otros, 1999], indicaron que se puede obtener un comportamiento satisfactorio si las alcayatas se alojan en las juntas de mortero y si tienen una longitud igual al espesor de las unidades de mampostería. En el

³ Alcayata: clavo con la cabeza doblada en ángulo recto.

mismo estudio se demostró que es factible anclar las mallas en la periferia de la pared.

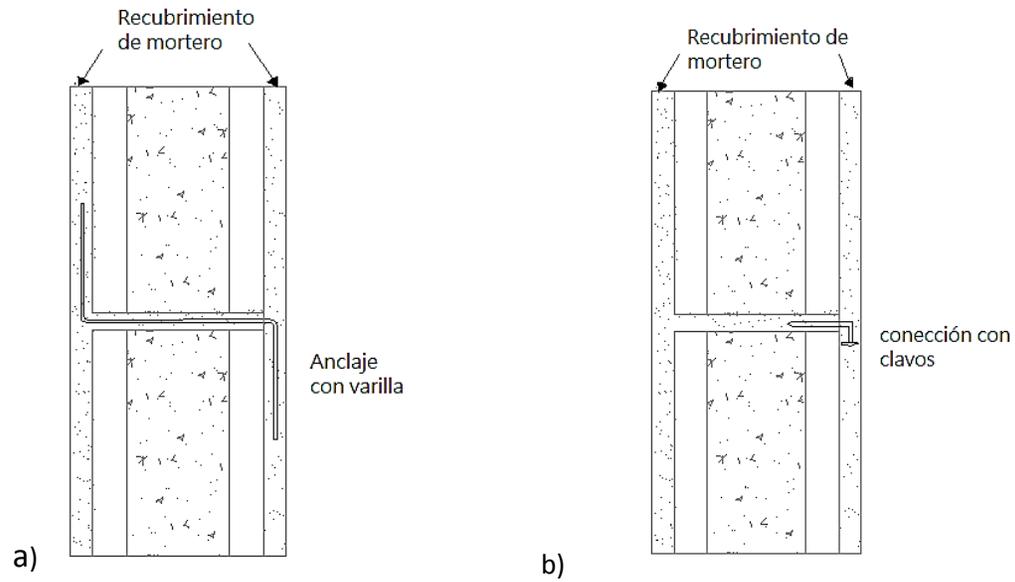


Figura 2.17: Tipos de anclaje: a) Anclaje en todo el espesor de la pared, b) Anclaje en parte del espesor de la pared.

En el caso de utilizar varillas de acero como conectores, se tiene que estos anclajes pueden fallar bajo las siguientes situaciones:

- **Falla a cortante:** se produce cuando los esfuerzos cortantes producto de las fuerzas sísmicas superan la resistencia a cortante del conector. (ver Figura 2.18 literal a).
- **Falla a flexión:** la flexión en los conectores se presenta debido a la separación del mortero y la mampostería, al fallar su adherencia. (ver Figura 2.18 literal b).

- **Falla por aplastamiento:** para anclajes con varillas de diámetros elevados, existe la posibilidad, que antes de ocurrir las fallas anteriores, se presente aplastamiento en la unidad de mampostería en la que se encuentra el conector, debido a la presión que este ejerce sobre dicha unidad (ver Figura 2.18 literal c).

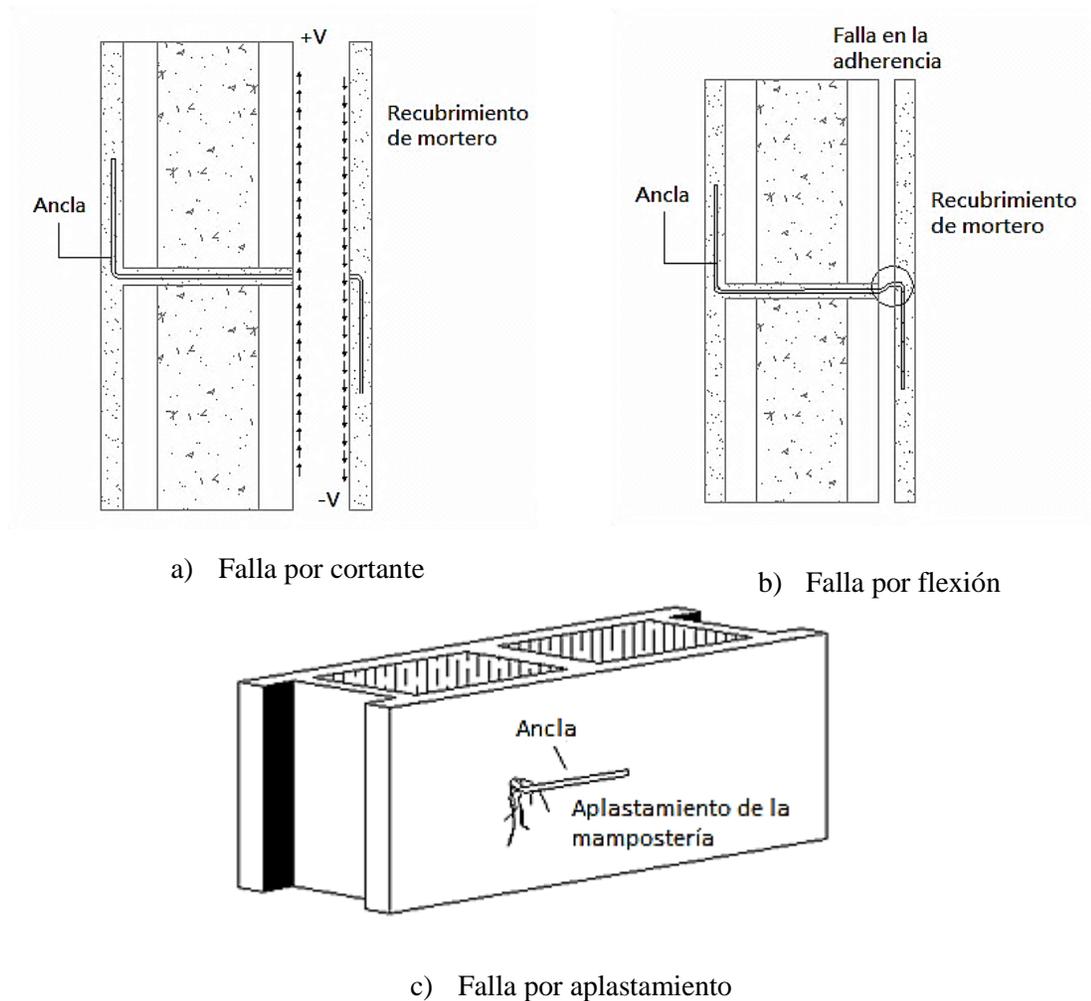


Figura 2.18: Tipos de falla en los anclajes.

La colocación de la malla electrosoldada y la distribución de anclajes, propuestas para este estudio es tal como se indica en las Figuras 2.19, 2.20 y 2.21. Como conectores se propone el uso de varillas de $\frac{1}{4}$ ", separadas a cada 40 cm, esta separación atiende a los lineamientos de las NTCM, donde se establece que la separación máxima entre los anclajes será de 450 mm.

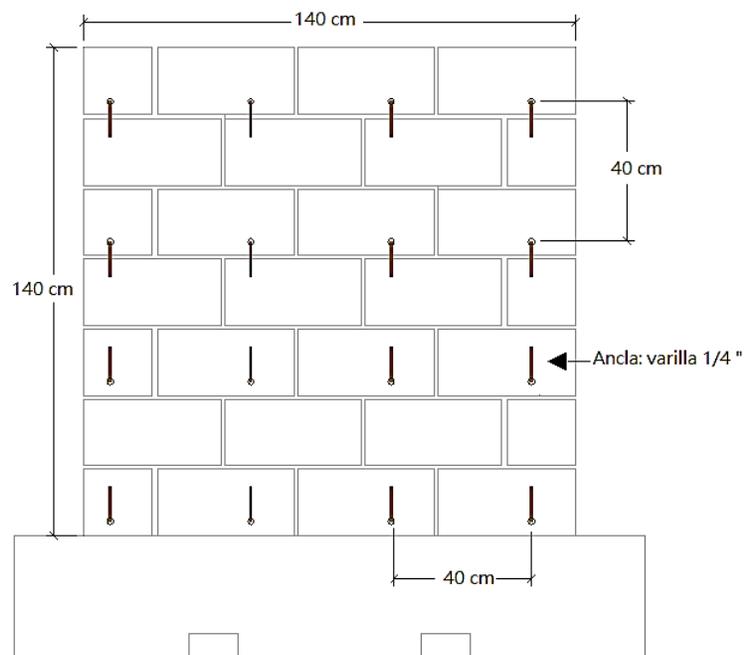


Figura 2.19: Distribución de anclajes en la pared.

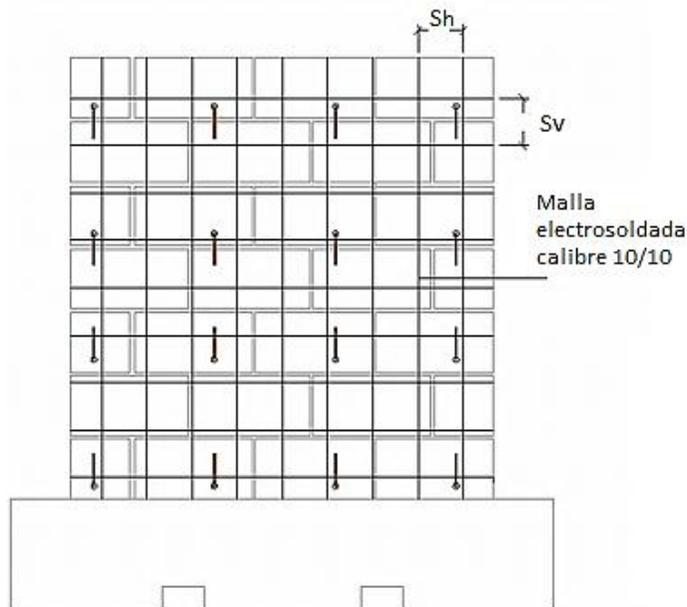


Figura 2.20: Colocación de la malla electro soldada.

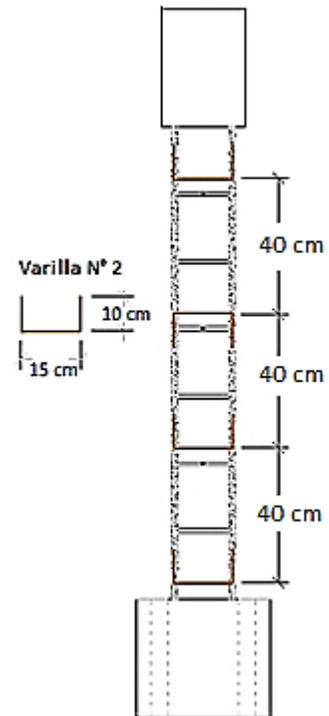


Figura 2.21: Perfil de la pared, las anclas atraviesan la pared en todo su espesor.

3. Colocación de la capa de mortero

Según las NTCM, el espesor mínimo de recubrimiento de mortero debe ser de 1.5 cm, y puede ser aplicado de forma manual o lanzado. Para el estudio de esta técnica se aplicará a la pared 1.5 cm de recubrimiento.

El mortero que más se utiliza como repello, es una mezcla entre cemento hidráulico y arena, también se le puede agregar aditivos para mejorar sus propiedades.

La calidad y el tipo de materiales utilizados pueden incurrir directamente en el comportamiento y la durabilidad del elemento. Conviene que el mortero que se use para cubrir las mallas sea lo más resistente y rígido posible. La NTCM define que se debe utilizar un mortero tipo I, con una resistencia a la compresión a los 28 días mayor a 125 kg/cm^2 . Antes de ensayar la pared rehabilitada se debe esperar a que el mortero alcance el 90% de su resistencia.

CAPITULO 3:

PROGRAMA EXPERIMENTAL

CAPITULO 3: PROGRAMA EXPERIMENTAL

En el presente capítulo se describe el programa experimental de la investigación. La construcción, diseño geométrico de las paredes, detalles del acero de refuerzo, ensayo de los materiales, colocación de los dispositivos de medición de carga, desplazamientos y deformación, así como el comportamiento teórico de las paredes, son presentados en este capítulo.

3.1 Descripción de las paredes de bloque de concreto con refuerzo integral.

Se propone la construcción de tres paredes, las cuales consistirán en paredes de bloque de concreto con refuerzo integral, de 15 cm de espesor. Las paredes serán cuadradas de 1.40 m de longitud y 1.40 m de altura (Figura 3.1). Todas las paredes tendrán como base una solera de concreto reforzado (solera de fundación), con un peralte total de 35 cm y un espesor de 40 cm (Figura 3.2), además en la parte superior contarán con vigas de transmisión de cargas (solera de corona), con un peralte de 35 cm y un espesor de 25 cm (Figura 3.3). Es de importancia mencionar que todos los modelos de pared son sólidos, sin huecos de puerta ni de ventana.

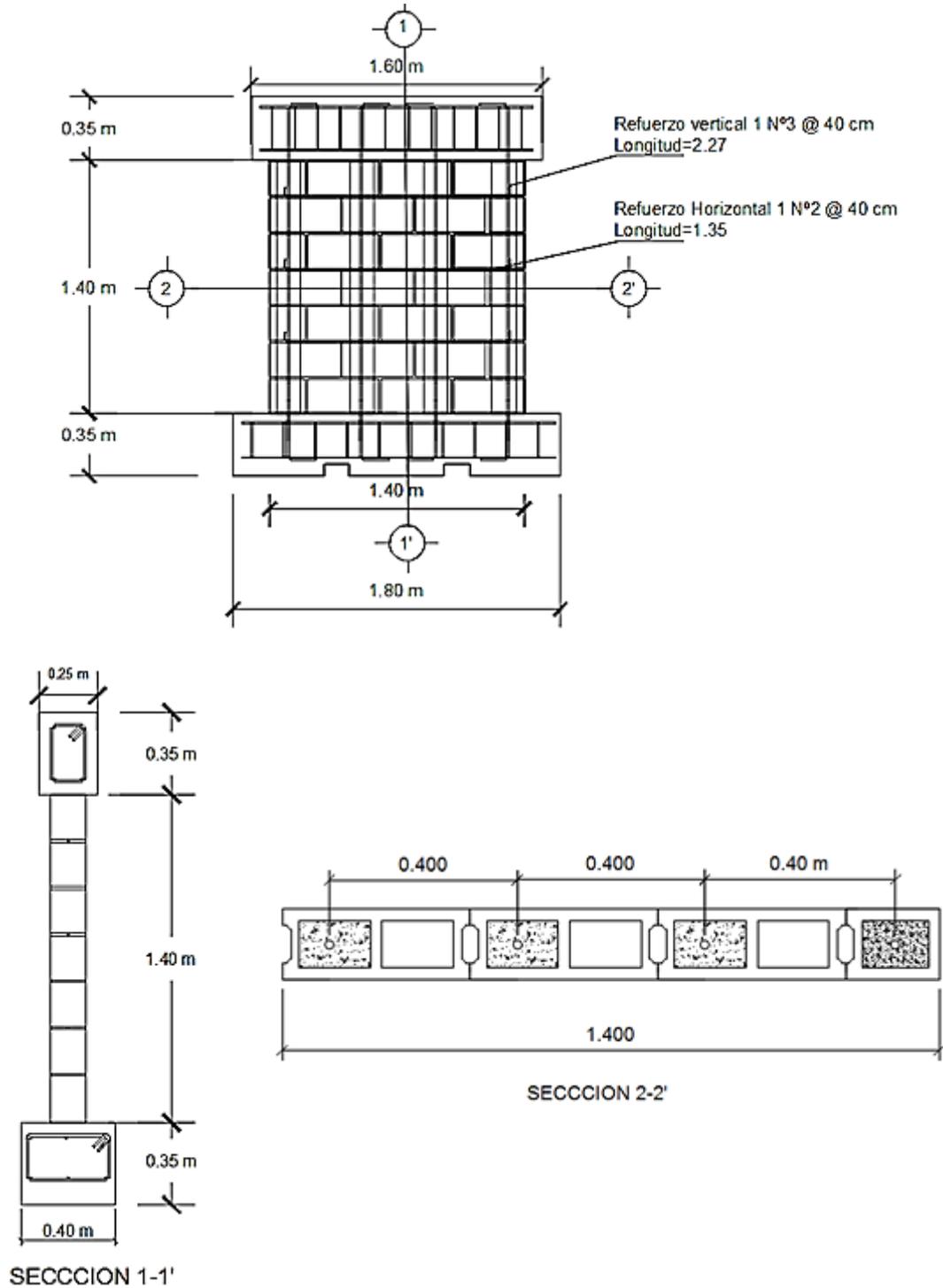
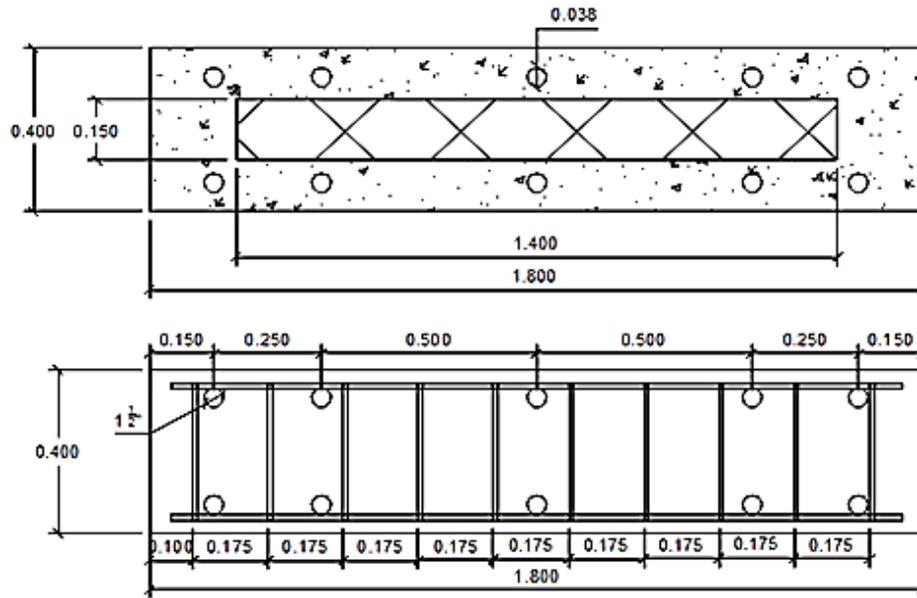


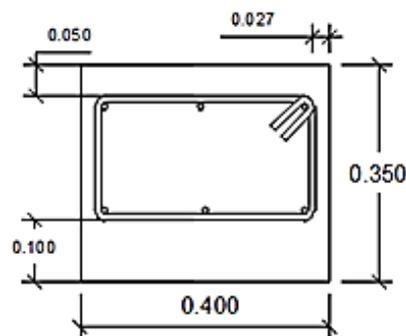
Figura 3.1: Geometría y detalle del refuerzo de las paredes en estudio



VISTA EN PLANTA SOLERA DE FUNDACION



VISTA FRONTAL SOLERA DE FUNDACION



ESTRIBOS N° 3 @ 17.5 cm
 $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$

REFUERZO LONGITUDINAL
 6 VARILLAS N° 4 Longitud=1.70 m
 $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$

SECCION TRANSVERSAL SOLERA DE FUNDACION

Figura 3.2: Detalle solera de fundación

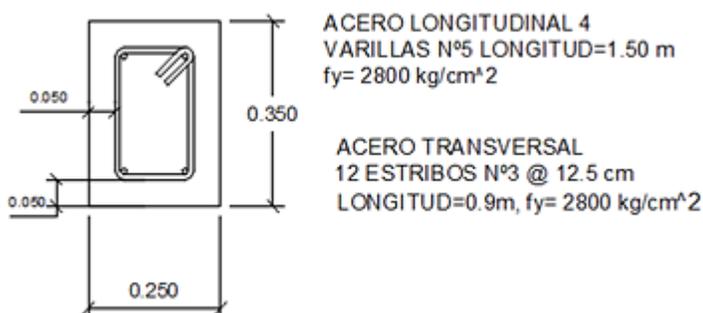
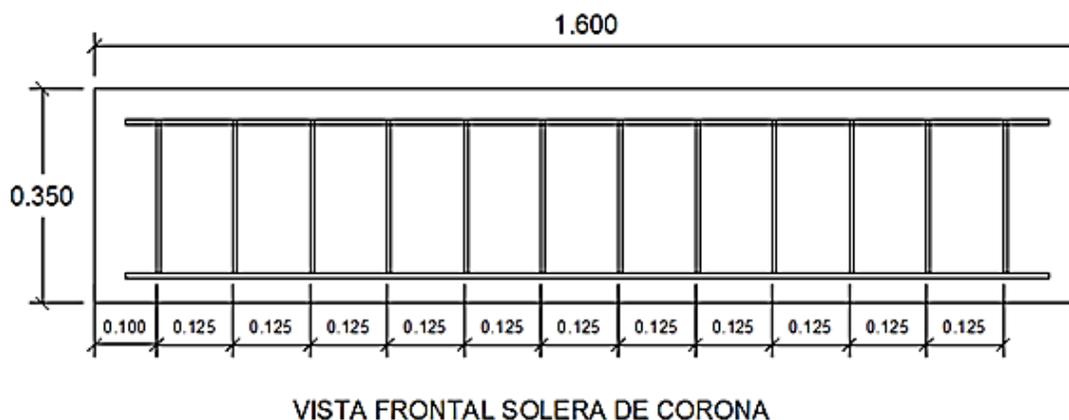


Figura 3.3: Detalle viga de transmisión de carga

3.2 Construcción de paredes de mampostería reforzada.

El proceso de construcción de las paredes es consistente con el procedimiento actual seguido en campo por albañiles. La construcción de las paredes inició el 21 de abril del 2016 y finalizó el 28 del mismo mes. En total se fabricaron tres paredes y su elaboración fue realizada en el área circundante al marco de carga de la Universidad de El Salvador. El primer paso fue la construcción de las bases, estas consisten en soleras de concreto reforzado, para ello se utilizaron moldes metálicos, propiedad de la escuela de Ingeniería Civil (Figura 3.4). La colocación de los tubos PVC, (cuyo fin es dejar los huecos para el paso de los

pernos que sujetarán la solera base al marco de carga durante el ensayo de las paredes) fue realizado sobre el marco de carga; asegurándose así que la ubicación de los estribos y los tubos PVC sean tal que los huecos del marco de carga y de la solera base coincidan (Figura 3.5).



Figura 3.4: Moldes metálicos para colado de las soleras base.



Figura 3.5: fijación de tubos PVC con acero de refuerzo.

Antes de proceder a colocar el armado en los moldes (Figura 3.7), se ubicaron piezas que permitieron dejar huecos en las fundaciones, para la entrada de las

cuchillas del montacargas que transportará las paredes al marco de carga para su ensayo. En este caso en particular se colocaron bloques de adobe forrados con plástico para dejar dichos huecos (Figura 3.6). Para dar el recubrimiento de concreto adecuado, se utilizaron separadores plásticos en lugar de las piezas tradicionales conocidas como helados (Figura 3.8). Luego de ubicado el acero de refuerzo se procedió al amarre de los bastones (refuerzo vertical) y al colado de las fundaciones (Figura 3.9), el concreto de las fundaciones se compactó mediante un vibrador eléctrico portátil. La proporción del concreto determinada del diseño de mezclas fue: 1: 1.5: 2.5. La mezcla fue elaborada de forma mecánica mediante una concretera con capacidad para 1 bolsa.



Figura 3.6: Colocación de piezas de adobe forradas con plástico.



Figura 3.7: Colocación acero de refuerzo.



Figura 3.8: Separadores plásticos para dar recubrimiento



Figura 3.9: Colado de las fundaciones

Antes de colocar el acero de refuerzo en los moldes metálicos, se colocaron los Strain Gauges en el refuerzo vertical de la mampostería, su ubicación y utilidad se describen en la sección 3.6, en la sección presente se describirá únicamente el proceso de su colocación.

3.2.1 Colocación de Strain Gauge.

El tipo de Strain Gauge que se utilizó es el FLA-10-23-5L con 120Ω y 10mm de longitud. El primer paso para su colocación consiste en preparar la superficie de las varillas de acero, en la cual se pegarán los Strain Gauge, para ello se debe desgastar la misma con ayuda de un taladro y esmeril (ver Figura 3.10). Una vez se han eliminado las corrugas, se procede a lijar con una lima plana, para posteriormente hacerlo con lijas N° 180, N° 320 y N° 400 en ese orden (ver Figura 3.11). Después de realizados los pasos anteriores se debe haber logrado una superficie de espejo. Para pegar el Strain Gauge es necesario limpiar la superficie lijada con acetona de madera, y se debe utilizar un adhesivo instantáneo cuyas características permitan una distribución uniforme de los esfuerzos que actúen sobre el acero (ver Figura 3.12). Pegado el Strain Gauge se recubre la superficie con una capa de parafina y luego se envuelve con una gasa. Por último, se realiza un recubrimiento final con resina Epóxica, la cual debe prepararse colocándole de 10 a 15 gotas de catalizador por cada 5 o 10 ml de resina (Ver Figura 3.13).



Figura 3.10: Desgaste de superficie con taladro y esmeril.



a)



b)



c)



d)

Figura 3.11: Preparación de superficie lijando con: a) Lima plana; b) Lija N° 180; c) Lija N°320 y d) Lija de agua.

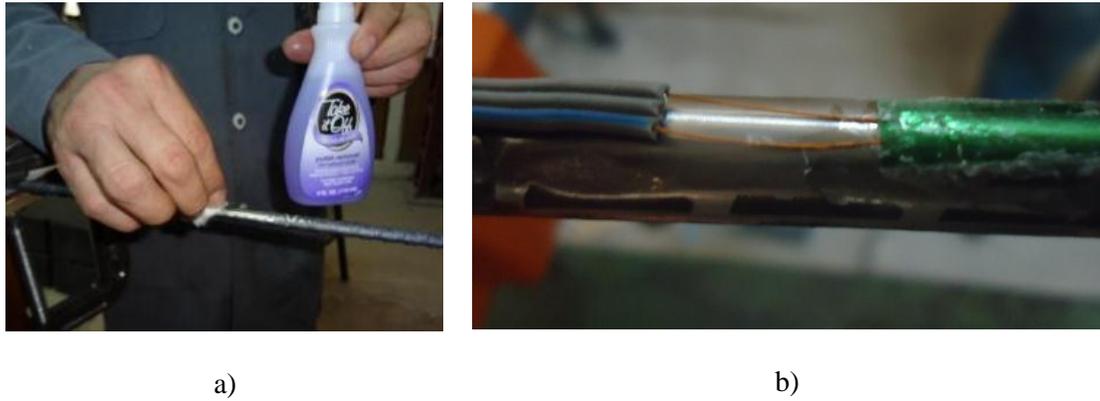


Figura 3.12: a) Limpieza de superficie con acetona para madera y b) pegado de Strain Gauge con pegamento LOCTITE 401.

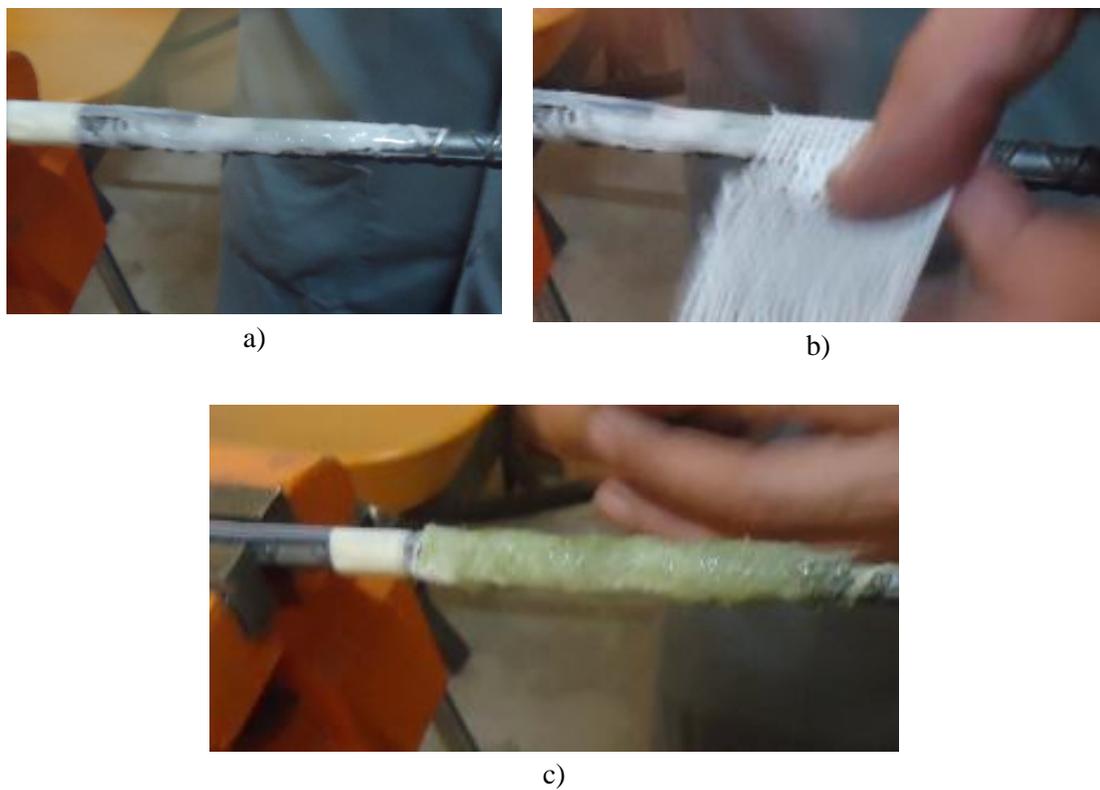


Figura 3.13: a) Recubrimiento con parafina; b) Envoltura de gasa y c) Recubrimiento final con resina Epóxica.

Una vez coladas las fundaciones, se procedió al pegado de bloques de concreto (Figura 3.14). El mortero de pega fue elaborado con una proporción de 1: 2.5, mientras que las celdas de los bloques fueron llenadas a cada 40 cm con concreto fluido (grout) cuya proporción fue de 1: 2.5: 2. Tanto el mortero como el grout utilizados fueron fabricados de forma manual. Durante la construcción de las paredes, se fabricaron los prismas para la determinación de la resistencia a la compresión simple y diagonal de la mampostería (ver Figura 3.15). Los prismas a compresión simple se componen de dos bloques enteros pegados uno sobre otro, mientras que los de compresión diagonal consisten en 3 hiladas de un bloque entero y una mitad pegados paralelamente



Figura 3.14: Pegado de bloques de concreto.



Figura 3.15: Elaboración de prismas.



Figura 3.16: Elaboración de encofrados de viga de transmisión de carga.

El último paso consistió en la construcción de las vigas de transmisión de carga en la parte superior de las paredes, para ello se fabricaron moldes de madera (ver Figura 3.16). Para el colado se utilizó un concreto fabricado de forma mecánica mediante concreteira y con la misma proporción usada en las fundaciones (ver Figura 3.17). Una vez finalizada la construcción se dispuso al retiro de las piezas de adobe (ver Figura 3.18). Las paredes ya construidas se pueden apreciar en la Figura 3.19.



Figura 3.17: Colado de viga de transmisión de carga.



Figura 3.18: Retiro de piezas de adobe.



Figura 3.19: Paredes de mampostería reforzada.

3.3 Propiedades mecánicas de los materiales

Las unidades de bloque de concreto, mortero de pega, grout, concreto y acero de refuerzo, son el objeto de estudio de este apartado; por lo que se presentan algunas generalidades y normativas que rigen a dichos materiales y componentes con el fin de control de calidad.

3.3.1 Especificaciones de ensayos y normas utilizadas para el control de calidad de materiales y componentes

3.3.1.1 Bloque de concreto

Es una pieza prefabricada de concreto, la cual tiene una forma prismática, elaborada con mezclas de cemento Portland, agregados de peso normal y/o agregados de peso ligero, y agua. Las piezas poseen huecos, los cuales son llamados celdas. Se fabrican de dimensiones uniformes, con el objetivo que su modulación sea sencilla. Entre las propiedades más importantes de los bloques de concreto, se encuentra la absorción y la resistencia a la compresión.

- **Absorción y resistencia a la compresión**

Tanto el ensayo de absorción como el de resistencia a la compresión de bloques de concreto son regidos por ASTM C140: "Método de ensayo estándar para el muestreo y ensayos a bloques de concreto y unidades relacionadas". Las unidades de mampostería se clasifican en base a su densidad según la Tabla 3.1.

Clasificación por Densidad	Densidad de Concreto Secado en Horno, lb/pie ³ (Kg/m ³)
	Promedio de 3 unidades
Peso Ligero	Menos de 105 (1680)
Peso Medio	De 105 a menos de 125 (1680-2000)
Peso Normal	Más de 125 (2000)

Tabla 3.1: Clasificación de los Bloques por Densidad. Fuente: Norma ASTM C 90-06, "Especificaciones para Unidades Portantes de Mampostería de Concreto", Tabla N°2.

Los valores máximos de porcentaje de absorción y los valores mínimos de resistencia a compresión para cada clase de unidad se muestran en las Tablas 3.2 y 3.3 respectivamente.

Clasificación por Densidad	Absorción Máxima de Agua, lb/pie ³ (Kg/m ³)	
	Promedio de 3 unidades	Unidades Individuales
Peso Ligero	18 (288)	20 (320)
Peso Medio	15 (240)	17 (272)
Peso Normal	13 (208)	15 (240)

Tabla 3.2: Requerimientos de absorción. Fuente: Norma ASTM C 90-06, "Especificaciones para Unidades Portantes de Mampostería de Concreto", Tabla N°2.

Clasificación por Densidad	Resistencia Mínima a Compresión. Área Neta, lb/pulg ² (MPa)	
	Promedio de 3 unidades	Unidades Individuales
Peso Ligero	1900 (13.1)	1700 (11.7)
Peso Medio	1900 (13.1)	1700 (11.7)
Peso Normal	1900 (13.1)	1700 (11.7)

Tabla 3.3: Resistencia Mínima a Compresión. Fuente: Norma ASTM C 90-06, "Especificaciones para Unidades Portantes de Mampostería de Concreto", Tabla N°2.

3.3.1.2 Concreto fluido (Grout)

El grout es un compuesto que consta de cemento portland, cal, agua y agregado, utilizado para el relleno de grietas, juntas y huecos en paredes de mampostería y construcciones de concreto. Usualmente es una mezcla fluida, cuya principal función es aumentar la resistencia de las paredes y la transmisión de los esfuerzos al acero. El proporcionamiento del grout se debe realizar mediante uno de los métodos siguientes:

1. Considerando las proporciones mostradas en la Tabla 3.4.
2. Utilizando un proporcionamiento tal que refleje a los 28 días la resistencia a la compresión especificada, al ensayarse según lo establecido en la norma ASTM C 1019. El revenimiento del grout deberá ser de 8 a 11 pulgadas, y se determinará según lo descrito en la norma ASTM C143/C143M: “Método de Ensayo Estándar para Revenimiento del Concreto de Cemento Hidráulico”.

Tipo	Partes por volumen de cemento Portland o cemento mezclado	Agregado, medido en condición húmeda y suelta	
		Fino	Grueso
Grout fino	1	2¼–3 veces la suma de volúmenes de los materiales cementicios.
Grout grueso	1	2¼–3 veces la suma de volúmenes de los materiales cementicios.	1 - 2 veces la suma de los volúmenes de los materiales cementicios

Tabla 3.4: Proporciones del Grout por Volumen. Fuente: Norma ASTM C 476–02, “Especificación Estándar para Grout de Mampostería”, Tabla N°1.

- **Resistencia a la compresión**

Los especímenes de ensayo se fabrican mediante la colocación de bloques no absorbentes, en una configuración tal que sirvan como moldes para los especímenes (Ver Figura 3.20). La resistencia a la compresión de los especímenes de grout se obtendrá al someterlos a carga en la máquina de ensayos según lo descrito en ASTM C1019. La carga deberá aplicarse a una velocidad de movimiento que corresponda a una velocidad de esfuerzo en el espécimen de 0.25 ± 0.05 MPa/s (35 ± 7 psi/s).

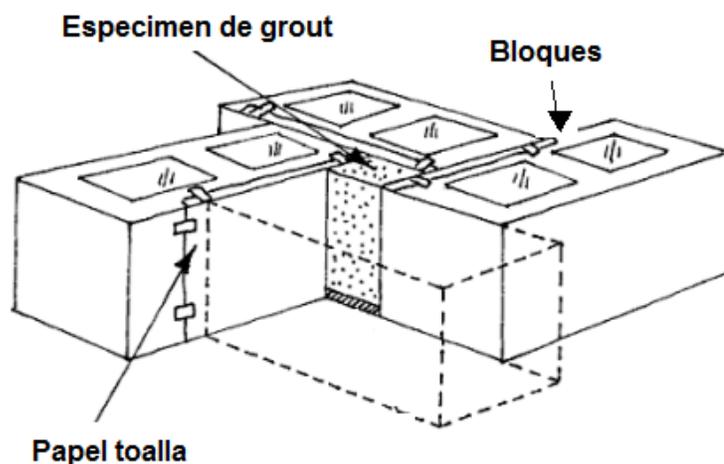


Figura 3.20: Moldes para especímenes de concreto fluido (Grout).

En cuanto al resultado del ensayo tenemos que tanto la norma ASTM C476: “Especificación Estándar para Grout de Mampostería” como la “Norma técnica para control de calidad de materiales estructurales, mayo 1997” de El Salvador, establecen que la resistencia a la compresión mínima del grout, a los 28 días, debe ser 2000 psi (140 kg/cm^2).

3.3.1.3 Mortero

Los morteros son mezclas de un material aglomerante, comúnmente cemento, un agregado fino, comúnmente arena, y agua. En algunos casos se le agrega cal para mejorar la trabajabilidad y retención de agua de la mezcla. La principal función de los morteros es la unión de las diferentes piezas mediante la capacidad de adherencia entre el mortero y la unidad de mampostería. La norma ASTM C270 establece una clasificación de 4 tipos de mortero.

1. **Tipo M:** Mortero de alta resistencia, para mampostería reforzada y no reforzada sujeta a grandes fuerzas de compresión, vientos o estructuras en contacto con el suelo.
2. **Tipo S:** Mortero de alta resistencia a la adherencia. Recomendado en paredes sujetas a carga de compresión normal, en donde se requiera alta resistencia.
3. **TIPO N:** Mortero de uso general, con mediana resistencia. Es el mortero que representa la mejor combinación de resistencia, trabajabilidad y economía.
4. **TIPO O:** Mortero de baja resistencia, recomendado en paredes divisorias sin carga. Su principal característica es la alta trabajabilidad.

El proporcionamiento de los materiales que componen al mortero debe ser el previsto en la Tabla 3.5, cuando no se haya establecido en laboratorio o por experiencia de campo.

Mortero	Tipo	Cemento portland	Cemento mampostería		Cal	Agregado
			M	S		
Cemento y cal	M	1	-	-	¼	≥2 ¼ y ≤ 3 veces la suma de los volúmenes de los cementantes.
	S	1	-	-	¼ a ½	
Cemento de mampostería	M	-	1	-	-	
	S	-	-	1	-	

Tabla 3.5: Proporciones por volumen para mortero. Fuente: "Norma técnica para control de calidad de materiales estructurales" 1997, Tabla 4.2.

- **Resistencia a la compresión**

La elaboración y el ensayo a compresión de los especímenes de mortero debe atender lo descrito en ASTM C109 "Método de Ensayo para Resistencia a la Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico", los especímenes deben ser cúbicos de 5 mm. La resistencia a la compresión será el promedio de los resultados obtenidos de 3 cubos de mortero. Según la "Norma técnica para control de calidad de materiales estructurales" la resistencia a la compresión mínima para morteros tipo M será de 175 kg/cm², y de 125 kg/cm² para morteros tipo S.

3.3.1.4 Acero de refuerzo

- **Resistencia a la tensión**

El procedimiento para el ensayo de resistencia a la tensión en el acero de refuerzo está regido por ASTM A370: "Método de Ensayo Estándar y Definiciones para Ensayos Mecánicos de Productos de Acero". Los especímenes de ensayo deberán cumplir los requerimientos mínimos para

resistencia a Tensión, Resistencia a Fluencia y porcentaje de elongación para las barras de acero al carbono especificados en la Tabla 3.6.

	Grado 40 [280]^A	Grado 60 [420]	Grado 75 [520]^B
Resistencia mínima a tensión, psi [MPa]	60,000 [420]	90,000 [620]	100,000 [690]
Resistencia mínima a fluencia, psi [MPa]	40,000 [280]	60,000 [420]	75,000 [520]
Elongación mínima en 8 pulg [203.2mm], por ciento:			
N° de Designación de Barra			
3 [10]	11	9	-
4, 5 [13, 16]	11	9	-
6 [19]	12	9	7
7, 8 [22, 25]	-	8	7
9, 10, 11 [29, 32, 36]	-	7	6
14, 18 [43, 57]	-	7	6

^A Barras Grado 40 [280] son proporcionadas solo en tamaños 3 hasta 6 [10 hasta 19].

^B Barras Grado 75 [520] son proporcionadas solo en tamaños 6 hasta 18 [19 hasta 57].

Tabla 3.6: Requerimientos de tensión para barras de acero al carbono. Fuente: Norma ASTM A 615–04b, “Especificación estándar para barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo del concreto”, Tabla N° 2.

3.3.1.5 Concreto

El Proporcionamiento de los materiales que componen al concreto, debe ser el resultado del diseño planteado por el ACI 211.1: “Práctica Estándar para Seleccionar el Proporcionamiento de Concreto de Peso Normal y Pesado”. El concreto y los especímenes de ensayo deben ser elaborados en base a lo

dispuesto en la ASTM C-192: “Práctica Estándar para Elaboración y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en el Laboratorio”.

- **Resistencia a la compresión**

Los especímenes de prueba deben poseer forma cilíndrica, con un tamaño nominal de 15x30 cm. Los extremos de las probetas no deben presentar desviación con respecto a la perpendicularidad del eje del cilindro en más de 0.5% y en los extremos deben hallarse planos dentro de un margen de 0.002 pulgadas. Los cilindros se deben centrar en la máquina de ensayo de compresión y cargados hasta completar la ruptura, según lo predispuesto en la ASTM C39: “Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto”. Se debe someter a prueba por lo menos dos cilindros de la misma edad y se reporta la resistencia promedio como el resultado de la prueba. En cuanto a los resultados de los ensayos se tiene que el comité ACI 318: “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural” establece que: ningún ensayo individual (entendiéndose por ensayo al promedio de la resistencia obtenida de dos probetas) debe ser menor a la resistencia de diseño ($f'c$) por más de 3.5 MPa (36 kg/cm²) cuando $f'c$ es igual o menor a 35 MPa (357 kg/cm²). De igual forma ningún ensayo podrá ser menor al 10% de $f'c$, cuando $f'c$ es mayor a 35 MPa (357 kg/cm²).

La Tabla 3.7 presenta un resumen de los resultados obtenidos en los ensayos a componentes y materiales. La Tabla 3.8 muestra las normativas que rigen los

ensayos, así como el anexo respectivo donde se podrán ver en detalle los resultados.

Tipo de ensaye	Propiedad	Variable	Valor	Fotografía
Compresión en unidades de bloque (kg/cm ²)	Resistencia promedio	f'_u	100.59	
Compresión en morteros para pegar piezas (kg/cm ²)	Resistencia promedio	f'_{mor}	101.19	
Compresión en concreto (kg/cm ²)	Resistencia promedio	f'_c	234.73	
Compresión en concreto fluido (Grout) (kg/cm ²)	Resistencia promedio	f'_g	116.29	

Tabla 3.7: Resultados experimentales de los materiales

Material o componente	Especificación	Ver
Agregado fino	ASTM C566: “Método de Ensayo Estándar para Medir el Contenido Total de Humedad Evaporable en Agregados Mediante Secado”	Anexo A-1.1
	ASTM C128: “Método de Ensayo Estándar para Densidad, Gravedad Especifica y Absorción de Agregados Finos”	Anexo A-1.2 Anexo A-1.3
	ASTM C29: “Método de Ensayo Estándar para Densidad Bulk y Vacíos en los Agregados”	Anexo A-1.4
	ASTM C136: “Método de Ensayo Estándar para Análisis por Tamiz de Agregados Gruesos y Finos”	Anexo A-1.5
Agregado Grueso	ASTM C566: “Método de Ensayo Estándar para Medir el Contenido Total de Humedad Evaporable en Agregados Mediante Secado”	Anexo A-2.1
	ASTM C127: “Método de Ensayo Estándar para Densidad, Gravedad Especifica y Absorción de Agregados Gruesos”	Anexo A-2.2 Anexo A-2.5
	ASTM C29: “Método de Ensayo Estándar para Densidad Bulk y Vacíos en los Agregados”	Anexo A-2.3 Anexo A-2.4
Cemento	ASTM C 188: “Método de Ensayo Estándar para Gravedad Específica del Cemento”	Anexo A-3.1
Concreto	ASTM C39: “Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto”	Anexo A-4.1
Concreto fluido (Grout).	ASTM C 1019: “Método de Ensayo Estándar para el Muestreo y Ensayo del Grout”.	Anexo A-5.1
Mortero	ASTM C1437: “Método de Ensayo Estándar para la Fluidez del Mortero de Cemento Hidráulico”	Anexo A-6.1
	ASTM C109: "Método de Ensayo para Resistencia a la Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico"	Anexo A-6.2
Acero de refuerzo	ASTM A370: “Método de Ensayo Estándar y Definiciones para Ensayos Mecánicos de Productos de Acero”	Anexo A-7.1
Bloque de concreto	ASTM C140: “Método de ensayo estándar para el muestreo y ensayos a bloques de concreto y unidades relacionadas”	Anexo A-8.1
		Anexo A-8.2

Tabla 3.8: Resumen de ensayos realizados a los materiales y componentes.

3.4 Propiedades mecánicas de la mampostería

3.4.1 Ensayo de compresión simple en prismas.

Para poder determinar la resistencia a compresión simple y el módulo de elasticidad de la mampostería estudiada, se hará uso de la NMX-C-415-2002. “NORMA TÉCNICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE PILAS DE MAMPOSTERÍA DE BARRO Y DE CONCRETO”. En la cual establece los métodos de prueba para la determinación de la resistencia a compresión y del módulo de elasticidad de pilas de mampostería de barro y de concreto. Los valores tanto de la resistencia a compresión como del módulo de elasticidad se podrán utilizar en el procedimiento de diseño de estructuras de mampostería. La prueba para determinar la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad de la mampostería a partir de pilas consiste en someter a las probetas a una carga de compresión en dirección perpendicular a las hiladas (fig. 3.21).

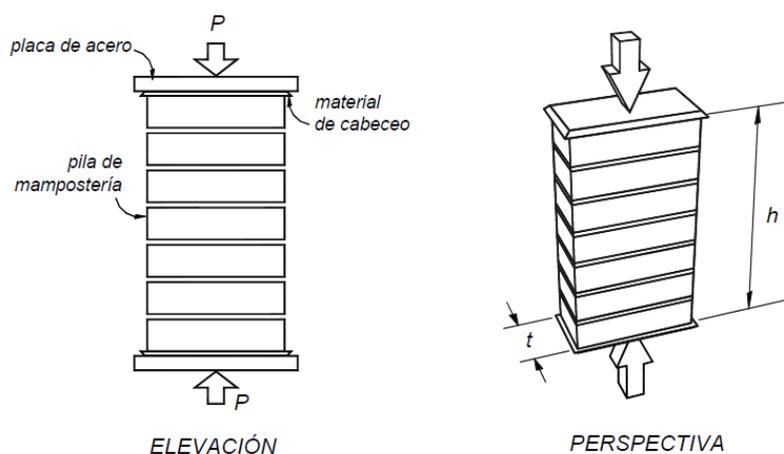


Figura 3.21: Prisma a compresión simple. Fuente: APNMX-C-415-2002

Para determinar el módulo de elasticidad de la mampostería se emplean dos transductores de desplazamiento colocados en sentido longitudinal del prisma, uno en cada cara. Los transductores deben tener una exactitud de un valor máximo de 0,02 mm y deben estar colocados de manera que se mida el desplazamiento relativo (acortamiento) entre los extremos superior e inferior, a lo largo de la longitud calibrada de la pila.

Se debe utilizar un arreglo como el que se muestra en la Figura 3.22, el cual consiste de marcos metálicos que se fijan a la probeta. La deformación en la dirección de la carga se obtiene a partir de transductores de desplazamiento. Se recomienda que el dispositivo cuente con barras escantillón para facilitar su colocación y fijación a la probeta.

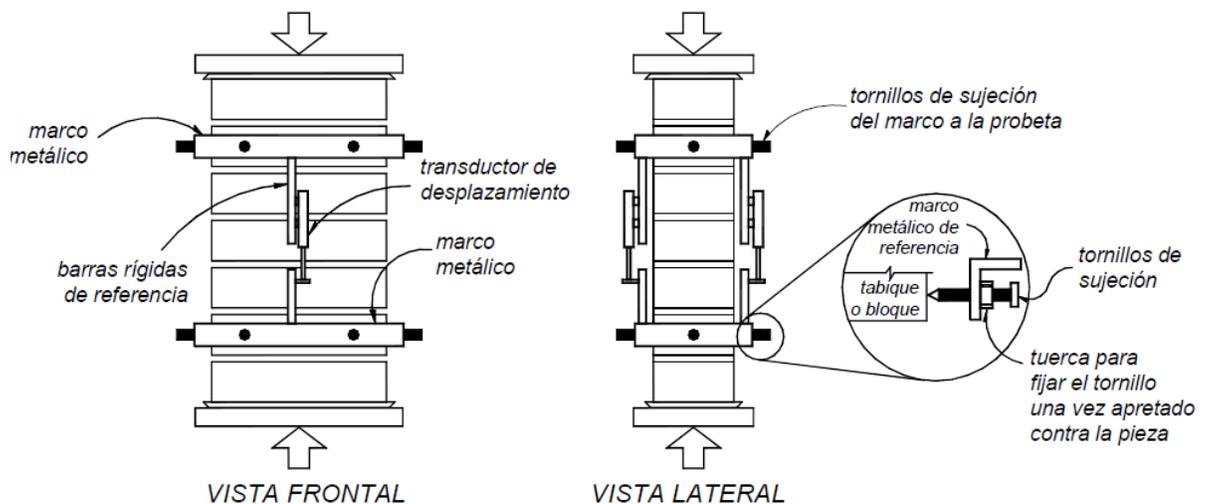


Figura 3.22: Dispositivo para medir el acortamiento longitudinal de una pila empleando marcos metálicos de referencia. Fuente: APNMX-C-415-2002

La relación de esbeltez de los prismas (cociente entre la altura y el espesor) debe encontrarse entre 2 y 5. Si la relación de esbeltez no se encuentra entre los

límites anteriores, se debe desechar la probeta. El esfuerzo medio f_m que se obtenga de los ensayos de las probetas se debe corregir multiplicándolo por los factores correctivos de la Tabla 3.9, interpolando linealmente para relaciones de esbeltez intermedias.

Relación de esbeltez	2	3	4	5
Factor correctivo	0.75	0.90	1.0	1.05

Tabla 3.9: factores correctivos por esbeltez de prismas. Fuente: APNMX-C-415-2002.:

La determinación de la resistencia a compresión y del módulo de elasticidad de la mampostería se debe hacer en prismas del mismo tamaño, construidos con el mismo tipo de piezas, mortero y técnica en la fabricación. El procedimiento de ensaye permite que, mediante la prueba a compresión, se determinen ambos parámetros. Después de construidos, los prismas no deben ser movidos en un mínimo de siete días. Se deben almacenar en ambiente de laboratorio por lo menos 28 días. El laboratorio debe mantenerse a una temperatura de 297 ± 8 K (24 ± 8 °C).

Para determinar el módulo de elasticidad de la mampostería se debe proceder de la siguiente forma:

- a) Aplicar la carga de manera uniforme y continua.
- b) Tomar un número suficiente de lecturas de desplazamiento y de carga de modo que se pueda definir mediante interpolación o Gráficamente el esfuerzo normal axial (σ_1) correspondiente a una deformación de 0,00005, así como la deformación correspondiente al 40% del esfuerzo normal máximo (σ_2). Si se

desea obtener la curva esfuerzo-deformación es conveniente tomar una mayor cantidad de lecturas. No se debe interrumpir la aplicación de la carga en ningún momento.

Cálculos

- **Resistencia a compresión para fines de diseño.**

La resistencia a compresión para fines de diseño f_m^* será igual a

$$f_m^* = \frac{\overline{f_m}}{1+2.5C_v} \quad [\text{EC-3.1}]$$

Dónde:

$\overline{f_m}$: Es la media de los esfuerzos resistentes de los prismas ensayados; y

C_v : Es el coeficiente de variación de los esfuerzos resistentes de los prismas ensayados, que no se tomará menor que 0,15.

- **Módulo de elasticidad de la mampostería**

$$E_m = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - 0.00005} \quad [\text{EC-3.2}]$$

Dónde:

E_m : es el módulo de elasticidad de la mampostería.

σ_1 : es el esfuerzo axial correspondiente a 0,00005 de deformación.

σ_2 : es el esfuerzo axial correspondiente al 40% de la carga máxima.

ε_2 : es la deformación producida por el esfuerzo σ_2 .

La deformación ε se calcula como

$$\varepsilon = \frac{\delta}{l_0} \quad [\text{EC-3.3}]$$

Dónde:

δ : es el acortamiento medido a lo largo de la longitud calibrada.

l_0 : es la longitud calibrada (fig. 3.23).

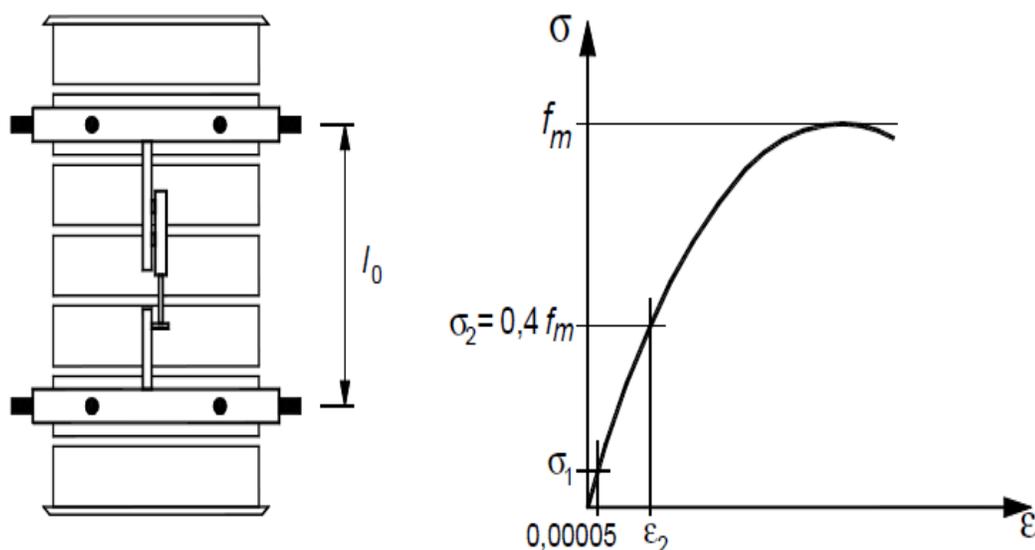


Figura 3.23: Izquierda: Longitud de calibración. Derecha: Gráfica de esfuerzo axial vs deformación unitaria. Fuente: APNMX-C-415-2002.

- **Resultados de resistencia a compresión y módulo de elasticidad de la mampostería.**

En este apartado se hará la presentación de los datos, resultados, Gráficas y modos de falla obtenidos para los prismas de compresión simple.

Identificación	PCS-1	PCS-2	PCS-3	PCS-4
Fecha fabricación prisma	22/04/2016	22/04/2016	22/04/2016	22/04/2016
Fecha del ensayo	31/05/2016	31/05/2016	31/05/2016	31/05/2016
Edad (días)	39	39	39	39
Peso (kg)	23.4	22.7	22.8	22.6
Espesor junta (cm)	1.4	1.3	1.35	1.5
Espesor promedio, t_{prom} (cm)	14.08	14.07	14.06	14.18
Longitud promedio, L_{prom} (cm)	39	39.05	38.9	38.95
Altura promedio, H_{prom} (cm)	39.95	40.7	40	40.55
Long. Calibrada cara norte(cm)	-	27.4	29.4	30
Long. Calibrada cara sur (cm)	-	27.7	29.7	30.4
Área bruta (cm ²)	549.12	549.4335	546.934	552.311
Área neta (cm ²)	332.84	332.84	332.84	332.84

Tabla 3.10: Resumen de datos de prismas a compresión simple antes del ensayo.

Carga máxima kN (kgf)	264.78(27000)	243.21(24800)	201.53(20550)	24.12(24600)
Resistencia a la compresión en área bruta kPa(kgf/cm ²)	4,820(49.2)	4,420(45.1)	3,690(37.6)	4,370(44.54)
Resistencia a la compresión en área neta kPa(kgf/cm ²)	7,950(81.1)	7,310(74.5)	6,050(61.7)	7,250(73.9)
hp/tp	2.8	2.9	2.8	2.9
Factor de corrección NMX	0.87	0.89	0.87	0.89
Resistencia a la compresión en área bruta kPa(kgf/cm ²)	4,190(42.8)	3,930(40.1)	3,210(32.7)	3,890(39.6)
Resistencia a la compresión promedio en área bruta kPa(kgf/cm ²)	3,810(38.8)			
Desviación estándar	418.37(4.3)			
Coefficiente de variación (%)	11.08			
Resistencia a la compresión en área neta kPa(kgf/cm ²)	6,920(70.6)	6,510(66.3)	5,260(53.7)	6,450(65.8)
Resistencia promedio a la compresión en área neta kPa(kgf/cm ²)	6,290(64.1)			
Desviación estándar kPa(kgf/cm ²)	714.54(7.26)			
Coefficiente de variación (%)	11.3			
Resistencia de diseño kPa (kgf/cm ²)	4,930 (50.3)			
E (kgf/cm ²)	-	32,008.91165	19,917.87131	40,649.56533
E_{prom} (kgf/cm ²)	30,858.78276			

Tabla 3.11: Resumen de resultados de prismas a compresión simple.

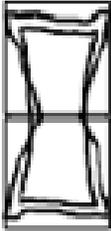
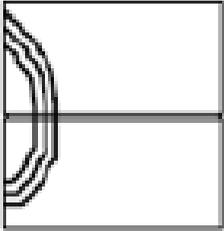
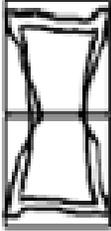
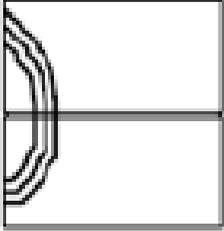
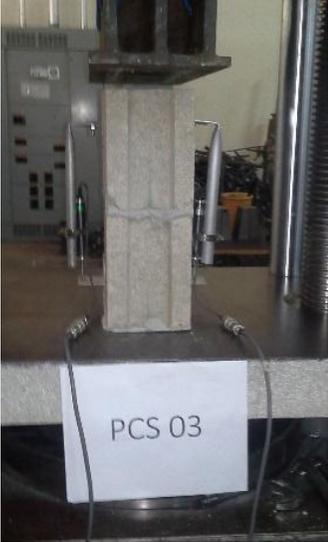
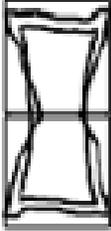
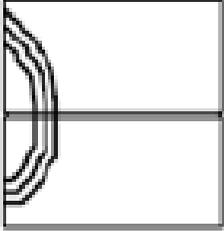
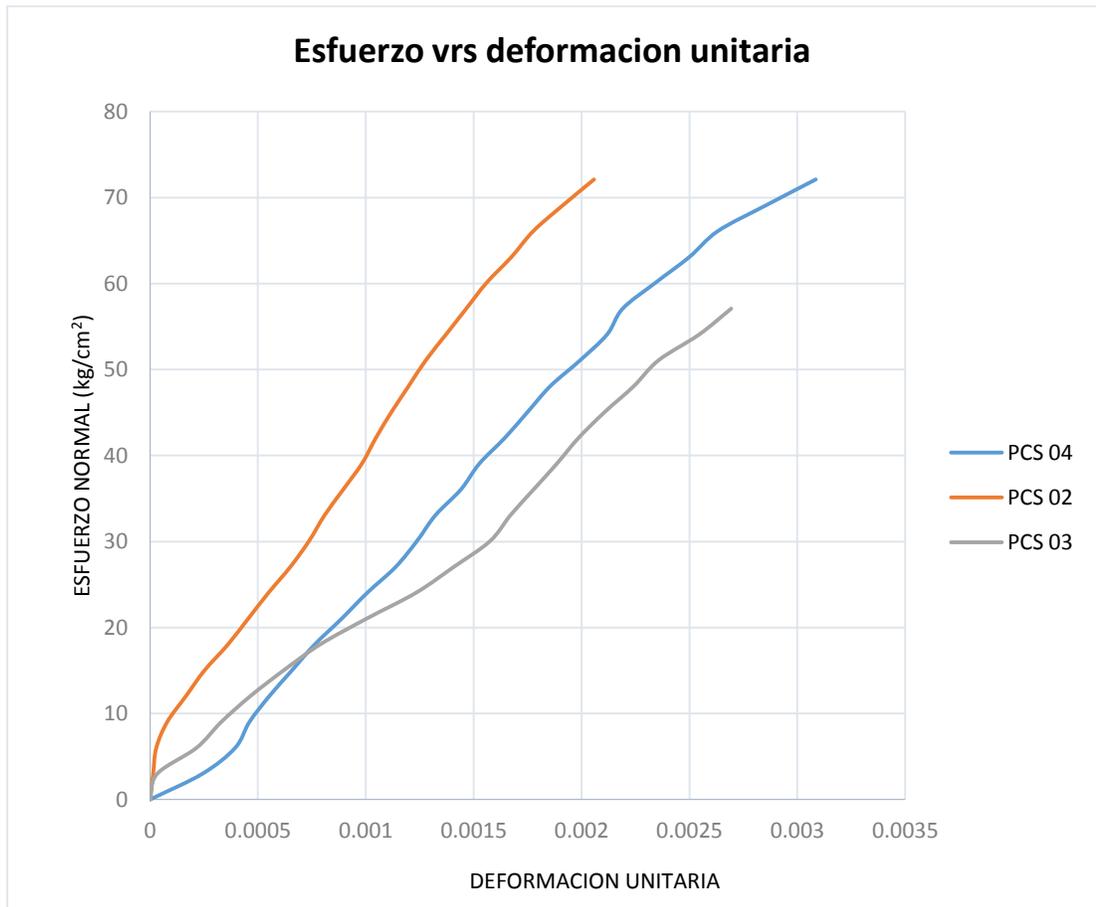
 <p>PCS 01</p>		<p>Rotura semi-cónica</p>  <p>A</p>  <p>B</p>
 <p>PCS 02</p>		<p>Rotura semi-cónica</p>  <p>A</p>  <p>B</p>
 <p>PCS 03</p>		<p>Rotura semi-cónica</p>  <p>A</p>  <p>B</p>



Tabla 3.12: Prismas a compresión simple y su modo de falla.



Gráfica 3.1: Grafica esfuerzo vs deformación unitaria.

3.4.2 Ensayo de compresión diagonal en prismas.

Para poder caracterizar las propiedades de la mampostería estudiada se hará uso de la NMX-C-62 416-2002 “NORMA TÉCNICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAGONAL Y DE LA RIGIDEZ A CORTANTE DE MURETES DE MAMPOSTERÍA DE BARRO Y DE CONCRETO”. Esta Norma Mexicana establece los métodos de prueba para la determinación de la resistencia a compresión diagonal y de la rigidez a cortante de prismas de mampostería de barro y de concreto. Los valores tanto de resistencia a compresión diagonal como de la rigidez a cortante se podrán utilizar en el procedimiento de diseño de estructuras de mampostería.

La prueba para determinar la resistencia a compresión diagonal y la rigidez a cortante de prismas de mampostería consiste en someter a las probetas a una carga de compresión a lo largo de una de sus diagonales (Fig. 3.24). Durante el ensayo, la carga vertical genera esfuerzos de tensión crecientes que se orientan perpendicularmente a la dirección de carga. Este campo de esfuerzos de tensión conduce a la falla del prisma a lo largo de una grieta aproximadamente vertical entre las dos esquinas cargadas

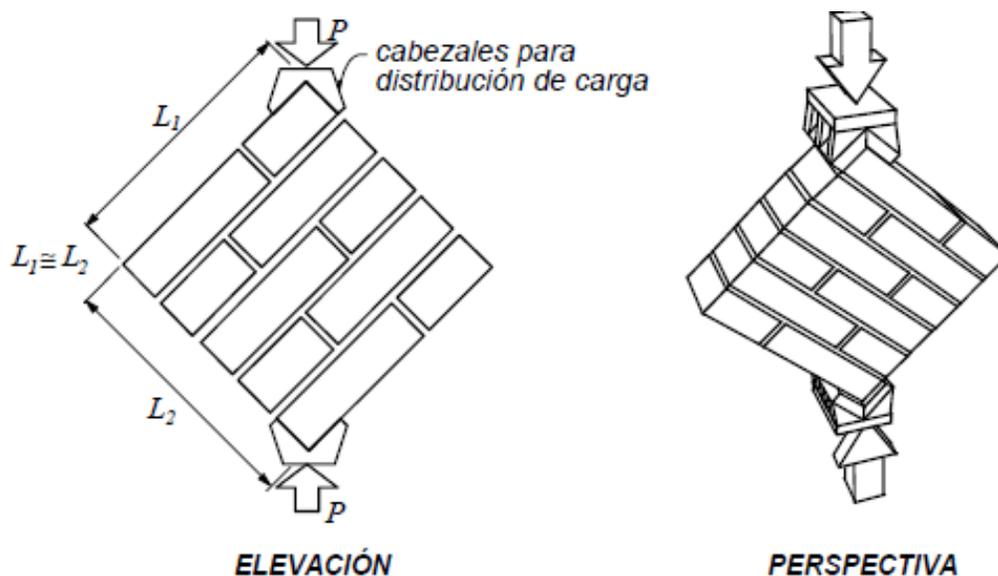


Figura 3.24: Prisma a compresión diagonal. Fuente: APNMX-C-416-2002.

La longitud mínima de cada una de las probetas deberá ser al menos una vez y media de la longitud del bloque individual, y el número de hiladas correspondientes deberán ser de tal forma que la relación altura/longitud de toda la probeta sea igual a la unidad; si esta relación es menor o igual que 0.9, la probeta debe ser rechazada. La colocación de los bloques deberá coincidir con la forma de la estructura de mampostería que se pretende utilizar. El número de prismas para que el ensayo sea representativo debe ser seis. Estos deben ser construidos en condiciones similares y con el mismo tipo de pieza, mortero y técnica de fabricación. Además, los prismas deben ser curados y almacenados antes del ensayo por al menos 28 días; después de construidos no pueden ser movidos por al menos 7 días. La longitud calibrada del espécimen se define como la longitud inicial sobre una diagonal del prisma a lo largo de la cual se

determina la deformación unitaria. Es igual a la distancia entre los apoyos del dispositivo para medir el alargamiento y el acortamiento de las diagonales. La longitud calibrada medida en el sentido horizontal no deberá diferir con la longitud calibrada medida en el sentido vertical por más del 5%.

Es importante que los cabezales de distribución de carga sean suficientemente rígidos para que la carga pueda ser aplicada uniformemente. Los cabezales no pueden cubrir más de la primera hilada del prisma Figura 3.25. En caso que los cabezales sean más grandes que esto, se puede auxiliar con la ayuda de ángulos metálicos que se colocarán entre los cabezales y el espécimen. El espesor mínimo de estos cabezales debe ser de 9 mm. Independientemente si se utiliza el ángulo metálico o no.

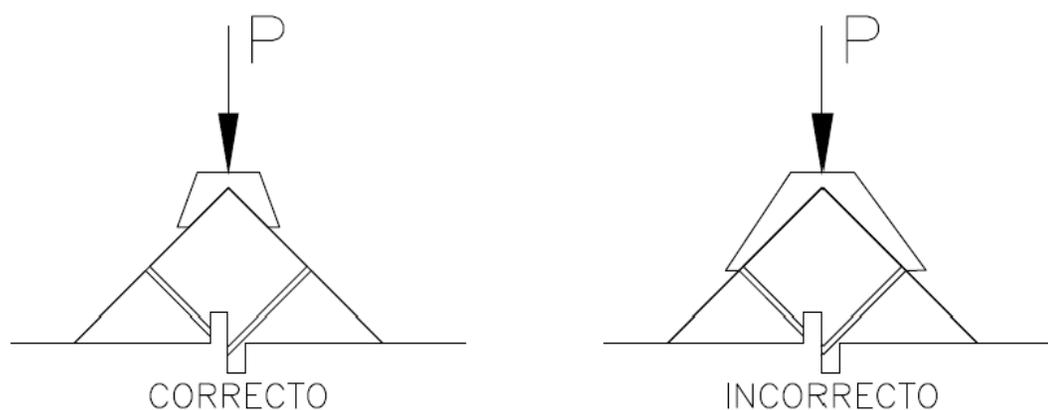


Figura 3.25: Presentación de cabezal adecuado. Fuente: APNMX-C-416-2002.

Para medir las deformaciones relativas (alargamiento y acortamiento), se debe hacer uso de transductores de desplazamiento, colocados de manera que se mida el desplazamiento relativo a lo largo de la longitud calibrada sobre las diagonales. La precisión de estos transductores no deberá ser mayor de 0.02

mm. Un arreglo de colocación de estos transductores se muestra en la Figura 3.26.

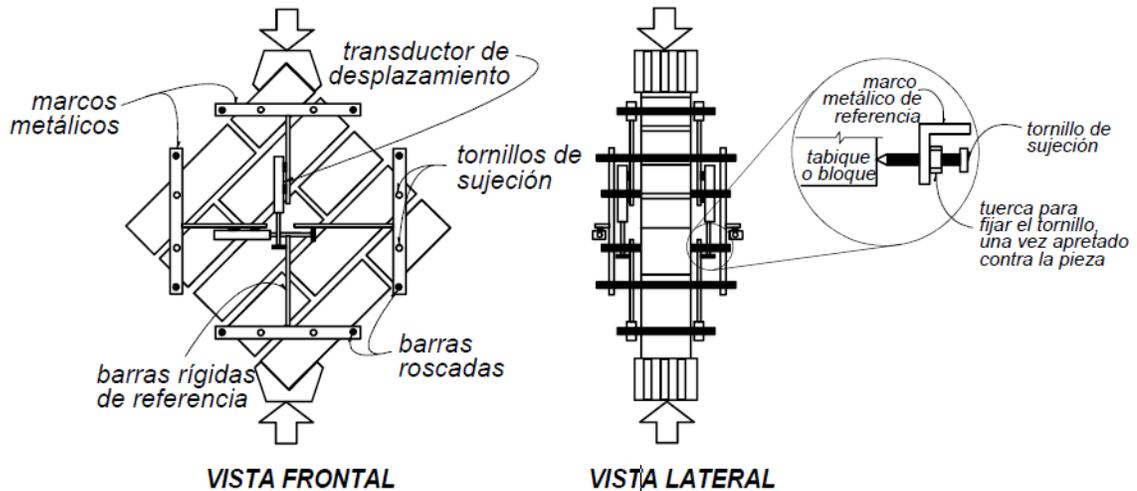


Figura 3.26: Instrumentación del prisma a compresión diagonal. Fuente: APNMX-C-416-2002.

Cuando las probetas cumplan una edad mínima de 28 días, entonces estas deberán ser colocadas en el dispositivo que servirá para realizar el ensayo, de acuerdo con lo estipulado anteriormente.

La velocidad con la que se aplica la carga debe ser tal que no produzca esfuerzos de impacto y no se produzcan pérdidas de carga, esta debe estar dentro del intervalo de 1.6 a 3.2 kPa/s (1.0 a 2.0 kgf/cm²/min). Sin embargo, durante la aplicación de la primera mitad de la carga máxima se permiten velocidades mayores, siempre y cuando en la segunda mitad se respeten los límites anteriormente mencionados. Es de suma importancia que la velocidad de aplicación de la carga sea uniforme dentro de cada intervalo del ensayo.

- **Cálculos:**

- **Resistencia a compresión diagonal**

Esta se debe calcular como la carga máxima determinada del ensayo entre el área bruta del prisma sometida a compresión-tensión. Esta área se puede determinar multiplicando la longitud de la diagonal a compresión, L_c , por el espesor del prisma, t . (Figura 3.27)

Para fines de diseño, la resistencia a compresión diagonal se puede calcular como:

$$V^* = \frac{V}{1+2.5C_v} \quad [\text{EC-3.4}]$$

Dónde:

V^* : Es la resistencia a compresión diagonal que puede ser utilizada en el diseño.

V : Es la media de los esfuerzos resistentes de los prismas ensayados.

C_v : Es el coeficiente de variación de los esfuerzos resistentes de los prismas ensayados, que no se tomará menor que 0,20.

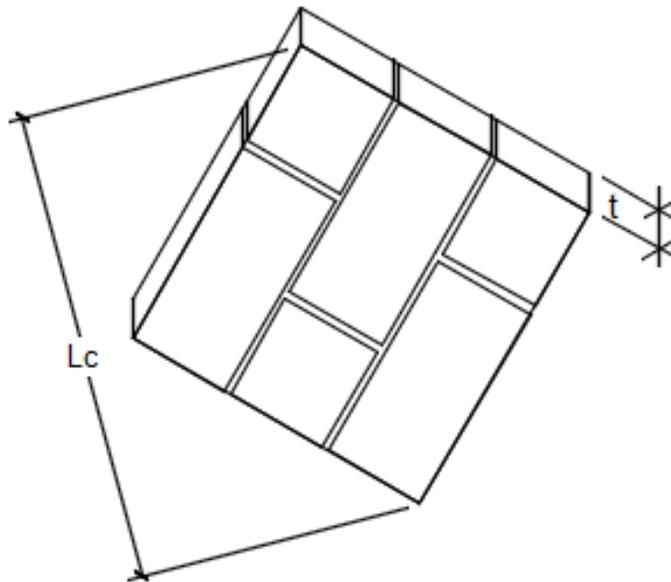


Figura 3.27: Dimensiones para calcular el área de distribución de la fuerza.

- **Módulo de rigidez a cortante**

Se deben determinar las deformaciones angulares del prisma, γ . Estas se calculan como:

$$\gamma = |\varepsilon_c| + |\varepsilon_t| \quad [\text{EC-3.5}]$$

Que a su vez:

$$\varepsilon_c = \frac{\delta_c}{l_{0c}} \quad [\text{EC-3.6}]$$

$$\varepsilon_t = \frac{\delta_t}{l_{0t}} \quad [\text{EC-3.7}]$$

Dónde:

ε_c : Es la deformación unitaria de la diagonal a compresión.

ε_t : Es la deformación unitaria de la diagonal a tensión.

δ_c : Es el acortamiento medido sobre la longitud calibrada de la diagonal a compresión.

δ_t : Es el acortamiento medido sobre la longitud calibrada de la diagonal de tensión.

l_{0c} : Es la longitud calibrada medida antes de la prueba, de la diagonal a compresión entre apoyos de transductores.

l_{0t} : Es la longitud calibrada medida antes de la prueba, de la diagonal a tensión entre apoyos de transductores. (Figura 3.28).

Teniendo estos datos, se procede al cálculo del módulo de rigidez a cortante de los prismas de mampostería. Conociendo la curva distorsión angular contra esfuerzo cortante, se puede determinar el módulo de rigidez a cortante de la parte lineal de la Gráfica. Se sugiere tomar como puntos la carga que el prisma experimenta a una deformación angular de 0,00005 y la deformación angular correspondiente al 40% de la carga máxima. Esto es:

$$G_m = \frac{\tau_2 - \tau_1}{\gamma_2 - 0.00005} \quad [\text{EC-3.8}]$$

Dónde:

G_m : Es el módulo secante de rigidez a cortante;

τ_1 : es el esfuerzo cortante correspondiente a 0,00005 de deformación angular;

τ_2 : es el esfuerzo cortante correspondiente al 40% de la carga máxima;

γ_2 : es la deformación angular producida por el esfuerzo τ_2 .

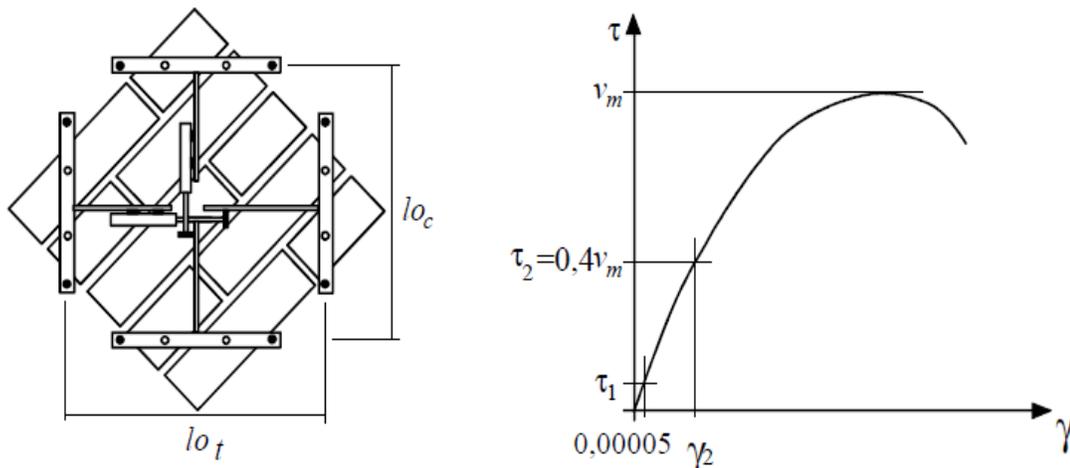


Figura 3.28: Izquierda: Longitudes de calibración. Derecha: Gráfica de esfuerzo cortante vs distorsión.
Fuente: APNMX-C-416-2002.

- **Resultados de resistencia a compresión diagonal y módulo de rigidez a cortante de la mampostería.**

En este apartado se hará la presentación de los datos, resultados, Gráficas y modos de falla obtenidos para los prismas a compresión diagonal.

Identificación	PCD-1	PCD-2	PCD-3	PCD-4
Fecha fabricación prisma	22/04/2016	22/04/2016	22/04/2016	22/04/2016
Fecha del ensayo	31/05/2016	31/05/2016	31/05/2016	31/05/2016
Edad (días)	39	39	39	39
Peso (kg)	58.4	57.8	57.3	58.2
Espesor junta 1(cm)	1.35	1.25	1.3	1.4
Espesor junta 2 (cm)	1.3	1.25	1.25	1.28
Espesor promedio, t _{prom} (cm)	14.04	14.14	14.09	14.1
Longitud promedio, L _{prom} (cm)	59.95	59.65	59.4	59.05
Altura promedio, H _{prom} (cm)	60.4	60.5	60.4	60.8
L/H	0.99	0.98	0.98	0.97
Longitud diagonal (cm)	85.1	84.9	84.7	84.8
Long.Cal. Comp. Este (cm)	-	62.1	58.5	61.8
Long.Cal. Tens. Este (cm)	-	62.8	55.6	59.3
Long.Cal. Comp.Oeste (cm)	-	61.7	59	59.8
Long.Cal. Tens.Oeste (cm)	-	62	58.5	60.1
Área diagonal comp. (cm ²)	1,194.8	1,200.5	1,193.4	1,195.7
Carga máxima kN (kgf)	72.68(7,410.29)	86.5(8,820.5)	84.84(8,651.31)	98.33(10,027)
Resistencia a comp. Diag. kPa(kg/cm ²)	610(6.2)	720(7.3)	710(7.2)	810(8.3)
Res. acomp. Diag.prom.kPa(kg/cm ²)	710 (7.3)			
Desviación estándar	0.91184169			
Coefficiente de variación (%)	12.41			
Resistencia de diseño kPa(kg/cm ²)	550 (5.6)			
G (kgf/cm ²)	---	17,598.54902	10,581.53522	14,009.09389
G _{prom} (kgf/cm ²)	14,060			

Tabla 3.13: Resultados del ensayo de prismas a compresión diagonal.

<p>PCD 01</p> <p>falla por tensión</p> <p>diagonal</p>	 <p>PCD 01</p>	
<p>PCD 02</p> <p>Falla combinada</p> <p>(cortante por</p> <p>fricción y tensión</p> <p>diagonal)</p>	 <p>PCD 02</p>	 <p>PCD 02</p>
<p>PCD 03</p> <p>Falla combinada</p> <p>(cortante por</p> <p>fricción y tensión</p> <p>diagonal)</p>	 <p>PCD 03</p>	 <p>PCD 03</p>

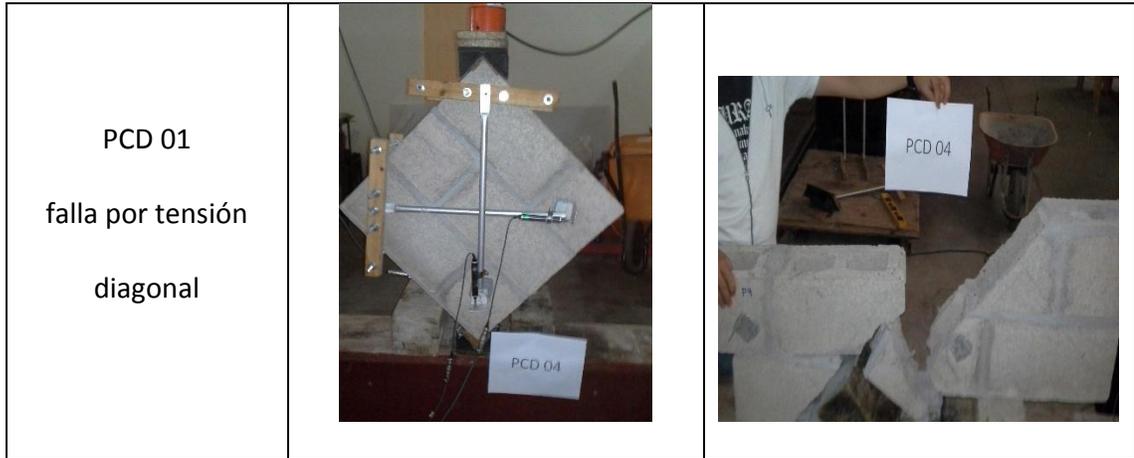
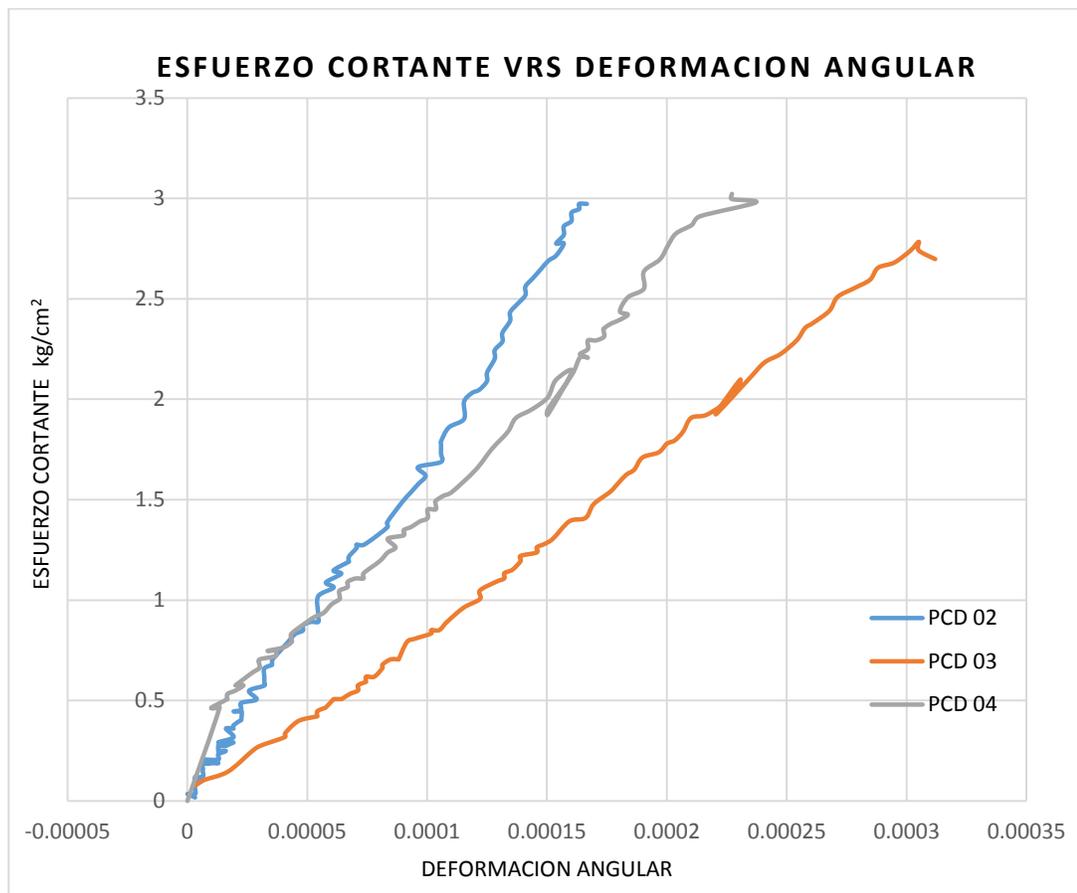


Tabla 3.14: Prismas a compresión diagonal y su modo de falla.



Gráfica 3.2: Grafica esfuerzo vs deformación angular.

3.5 Análisis de resultados de las propiedades mecánicas de la mampostería

En el presente apartado se analizan los resultados obtenidos de los ensayos de prismas a compresión simple y a compresión diagonal, donde las propiedades mecánicas de la mampostería se evalúan y comparan con lo que establece la “Norma Técnica para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería de El Salvador” (1994).

3.5.1 Resistencia a compresión simple

En el Anexo A-8 se presentan los resultados obtenidos del ensayo a las unidades de mampostería, donde la resistencia a compresión obtenida fue de 100.6 kg/cm².

La norma técnica permite estimar la resistencia a compresión simple de la mampostería (f'_m), a través de la resistencia a compresión de las unidades (f_u), tal como se muestra en la ecuación 3.9.

$$f'_m = 0.6 f_u \quad \text{[EC-3.9]}$$

De la correlación anterior, se obtiene un valor de f'_m de 60.36 kg/cm², mientras que el valor obtenido del ensayo a compresión simple es de 64.1 kg/cm², lo que demuestra que la resistencia a compresión obtenida es levemente mayor a la calculada con la correlación establecida en la norma técnica, por lo que usar este valor resulta más conservador que usar los datos obtenidos del ensayo a prismas donde se evalúa la mampostería y el mortero en conjunto.

3.5.2 Módulo de elasticidad.

En el apartado 3.4.1 se presentaron los resultados obtenidos del ensayo a compresión simple de la mampostería, donde el módulo de elasticidad determinado fue de 30,860 kg/cm². La norma técnica de mampostería establece que para cargas sostenidas el módulo de elasticidad en paredes de bloque de concreto podrá determinarse tal como se indica en la ecuación 3.10.

$$E = 350 f'_m \quad [\text{EC-3.10}]$$

En la Tabla 3.15 se muestra la correlación entre el módulo de elasticidad y la resistencia a compresión de la mampostería, que resulta del ensayo a compresión simple.

Resistencia a compresión (kg/cm ²)	64.1
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	30,860
Correlación lineal	481.44
Correlación lineal Norma técnica	350
Correlación lineal / Correlación lineal Norma técnica	1.38

Tabla 3.15: correlación lineal entre resistencia a compresión simple y módulo de elasticidad de la mampostería.

Al comparar la correlación lineal obtenida de los datos del ensayo ($E=481.44 f'_m$), con la establecida en la norma técnica ($E=350 f'_m$), se aprecia que el valor que se obtiene de la norma técnica es más conservador, por lo que el módulo de elasticidad real de la mampostería es mayor, al utilizado en el diseño estructural.

Es importante mencionar que el coeficiente de variación obtenido en los ensayos de prismas a compresión simple ($C_v=11.3\%$), es menor al mínimo establecido en la NMX-C-415-2002 (15%). Lo cual indica que los datos obtenidos son representativos y confiables.

3.5.3 Resistencia a compresión diagonal y Módulo de rigidez a cortante

Los valores obtenidos del ensayo de prismas a compresión diagonal se presentaron en el apartado 3.4.2, donde puede observarse que el coeficiente de variación fue de 12.41%, menor a 20% que es el mínimo establecido en la APNMX-C-416-2002, para el cálculo de la resistencia de diseño a compresión diagonal de la mampostería. El valor del coeficiente de variación obtenido del ensayo nos indica que existe una dispersión aceptable, por lo que los valores obtenidos son confiables y representan las condiciones reales de la mampostería en estudio.

La norma técnica de mampostería, permite estimar el módulo de rigidez a cortante (G) a través del módulo de elasticidad tal como se muestra en la EC-3.11.

$$G = 0.4E \quad [EC-3.11]$$

Es posible determinar hasta cuatro valores del módulo de rigidez a cortante (G). El primer valor se obtiene de los resultados del ensayo de primas a compresión

diagonal, mientras que los tres restantes se calculan con la EC-3.11, que depende del módulo de elasticidad (E).

Por lo tanto, existen 3 formas de determinar el módulo de elasticidad (E):

1. Determinándolo a través de los resultados de los ensayos de prismas a compresión simple.
2. Calculándolo a través de la ecuación 3.10, en la cual el valor de $f'm$ es aquel que se obtiene de los ensayos de prismas a compresión simple.
3. Calculándolo mediante la ecuación 3.10, en la cual el valor de $f'm$ es aquel que se obtiene de evaluar la ecuación 3.9.

En la Tabla 3.16 se presentan los resultados obtenidos con las correlaciones establecidas por la norma técnica, y los resultados obtenidos de los ensayos de prismas a compresión simple y diagonal.

Propiedad	Resultado obtenido de la correlación establecida en la norma técnica			Resultado obtenido de ensayos de prismas
Resistencia a compresión simple (kg/cm ²)	<i>EC-3.9</i>			$f'_m = 64.1$
	$f'_{m-NT} = 0.6 f_u$ $f'_{m-NT} = 0.6 (100.6)$ $f'_{m-NT} = 60.36$			
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	<i>EC-3.10</i>			$E = 30,860$
	$E_{NT-1} = 350 f'_{m-NT}$ $E_{NT-1} = 350(60.36)$ $E_{NT-1} = 21,126$	$E_{NT-2} = 350 f'_m$ $E_{NT-2} = 350(64.1)$ $E_{NT-2} = 22,435$		
Módulo de rigidez a cortante (kg/cm ²)	<i>EC-3.11</i>			$G = 14,060$
	$G = 0.4 E_{NT-1}$ $G = 0.4(21,126)$ $G = 8,450.4$	$G = 0.4 E_{NT-2}$ $G = 0.4(22,435)$ $G = 8,974$	$G = 0.4 E$ $G = 0.4(30,860)$ $G = 12,344$	
G/E	0.4	0.4	0.4	0.46

Tabla 3.16: Resultados obtenidos de las correlaciones establecidas en la norma técnica de mampostería y resultados obtenidos de ensayos a prismas

Los resultados presentados en la Tabla anterior, demuestran que los valores obtenidos de las correlaciones establecidas en la norma técnica y los valores obtenidos experimentalmente son similares, aunque puede observarse que tal como se espera resulta más conservador usar los valores obtenidos con las expresiones sugeridas por la norma técnica.

3.6 Metodología de ensayo

3.6.1 Método de carga

Se someterá a las paredes a carga cíclica pseudo-estática, se permitirá la rotación de la parte superior, para ello cada pared debe ser colocada sobre un marco de carga, cuyos dispositivos son mostrados en la Figura 3.29 y descritos en la Tabla 3.17.

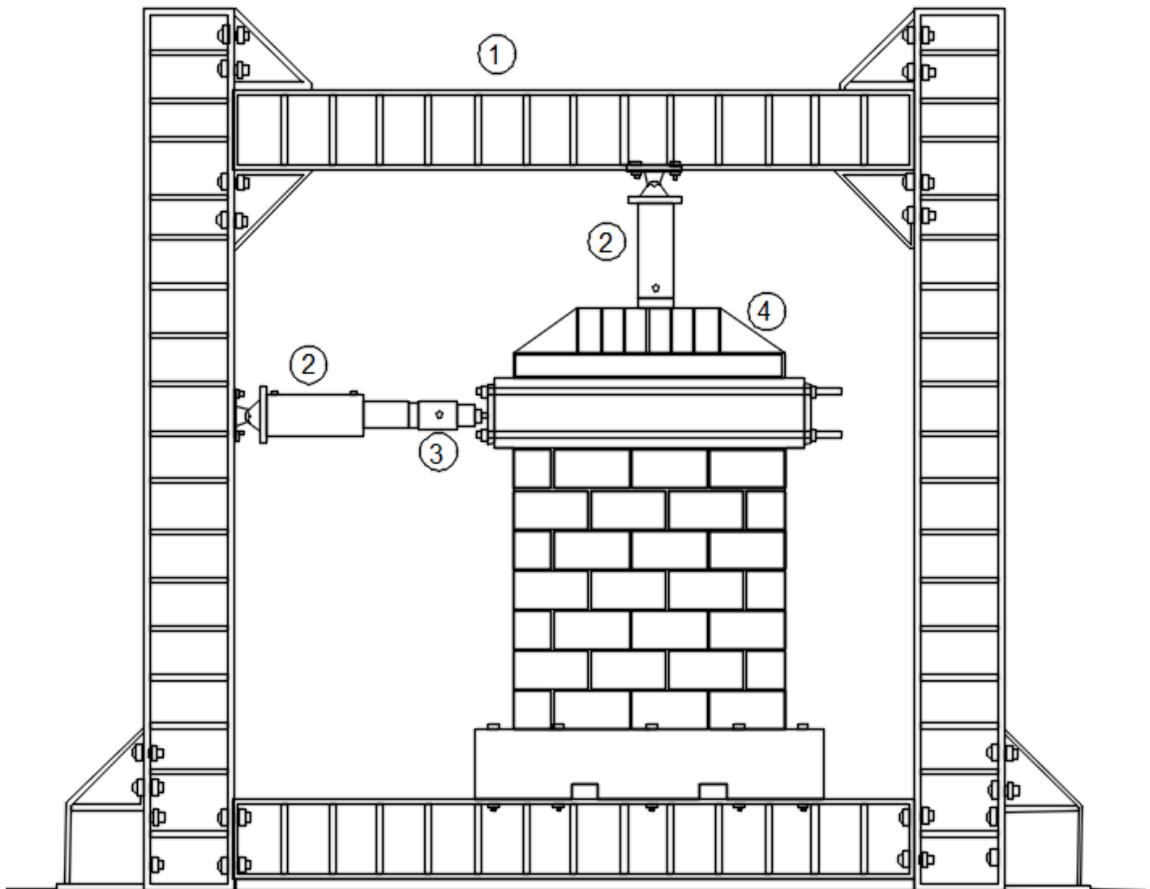


Figura 3.29: Ensamblaje completo de dispositivos para marco de carga.

Símbolo	Descripción
1	Marco de carga
2	Gato hidráulico
3	Celda de medición de carga
4	Placas de transmisión de carga

Tabla 3.17: descripción de dispositivos de transmisión de carga.

3.6.2 Medición de carga.

La magnitud de la fuerza horizontal se medirá usando una celda de carga con capacidad de 50 ton, colocada entre el gato hidráulico como lo muestra la Figura 3.30, esta celda consiste en un cilindro hueco de acero de alta resistencia, con dos circuitos independientes. Uno de los circuitos es conectado a la unidad recolectora de datos y el otro a una válvula de control del sistema. La magnitud de la fuerza vertical se controlará con una válvula manual (Figura 3.31), la cual mantendrá una carga constante durante toda la prueba.



Figura 3.30: Izquierda gato hidráulico 50 ton, derecha celda de carga 50 ton.



Figura 3.31: izquierda válvula manual para fuerza vertical, derecha válvula eléctrica para fuerza horizontal.

3.6.3 Medición de desplazamientos

La instrumentación consiste en dispositivos para medir desplazamientos en diferentes puntos de las paredes, así como la deformación unitaria del acero de refuerzo; por lo que la instrumentación se divide en externa e interna.

3.6.3.1 Instrumentación Externa

Tal como puede apreciarse en las Figuras 3.32 y 3.33, la instrumentación externa se ubicará para la medición de los desplazamientos lineales entre dos puntos; y de esta manera poder relacionarlos con deformaciones por corte y flexión. Para esto se utilizarán transductores de desplazamiento (CDP) (100mm, 50mm y 10 mm).

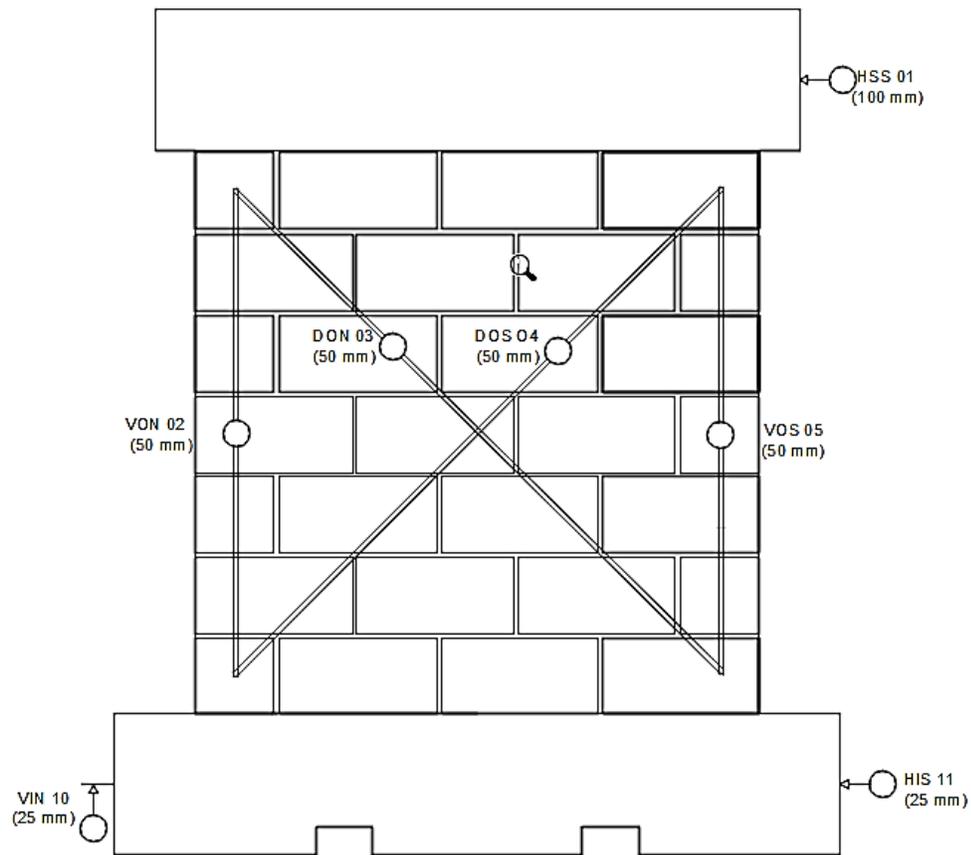


Figura 3.32: Instrumentación externa - vista oeste.

Identificación	Capacidad	Localización	Propósito
HSS 01	100	Horizontal Superior costado Sur	Mide los desplazamientos horizontales
VON 02	50	Vertical vista Oeste costado norte	Mide desplazamientos debido a flexión
DON 03	50	Diagonal Vista Oeste costado Norte	Mide desplazamientos debido a cortante
DOS 04	50	Diagonal vista Oeste costado Sur	Mide desplazamientos debido a cortante
VOS 05	50	Vertical vista Oeste costado Sur	Mide desplazamientos debido a flexión
VIN 10	25	Vertical Inferior costado Norte	Mide los desplazamientos debido a volteo del modelo.
HIS 11	25	Horizontal Inferior costado Sur	Mide desplazamientos debido a deslizamientos

Tabla 3.18: Transductores utilizados para cada pared - vista oeste.

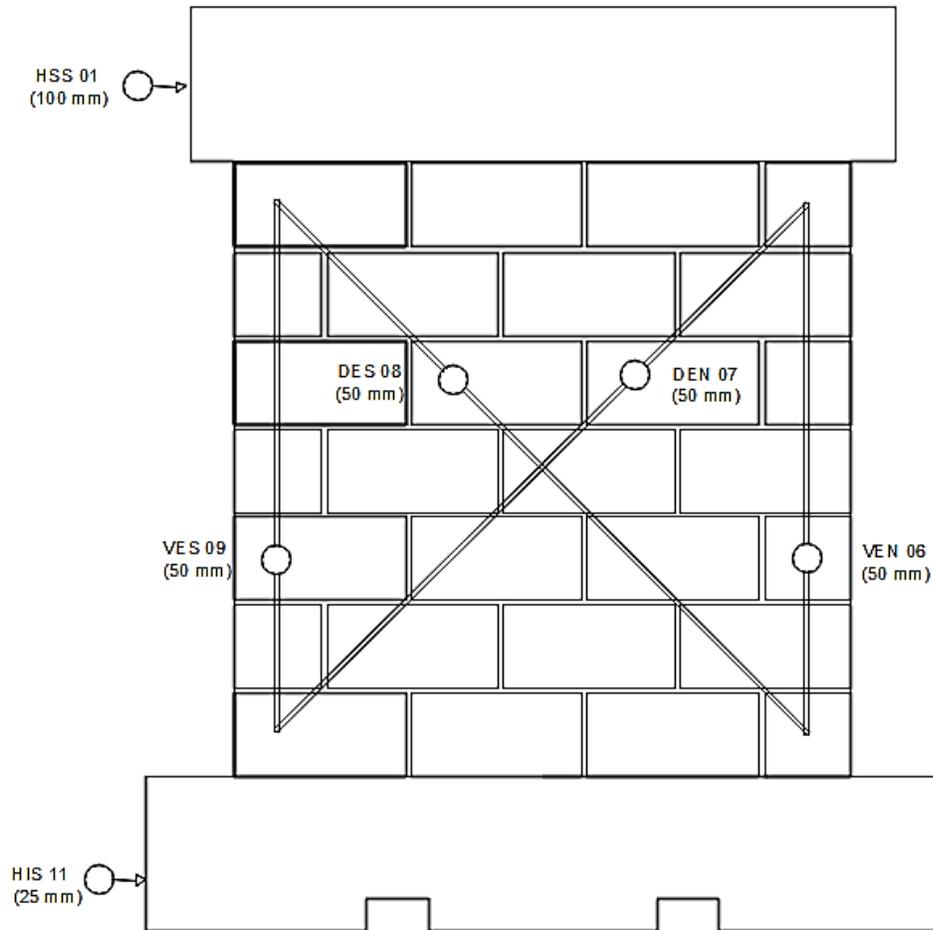


Figura 3.33: Instrumentación externa - vista este.

Identificación	Capacidad	Localización	Propósito
VEN 02	50	Vertical vista Este costado norte	Mide desplazamientos debido a flexión
DEN 03	50	Diagonal Vista Este costado Norte	Mide desplazamientos debido a cortante
DES 04	50	Diagonal vista Este costado Sur	Mide desplazamientos debido a cortante
VES	50	Vertical viste Este costado Sur	Mide desplazamientos debido a flexión

Tabla 3.19: transductores utilizados para cada pared vista este.

3.6.3.2 Instrumentación Interna

Las deformaciones locales en el acero de refuerzo serán medidas con Strain Gauges, los cuales son dispositivos eléctricos que se colocan sobre el acero de refuerzo, en zonas preparadas con anticipación y estratégicas en base a los objetivos de la medición. El tipo de Strain Gauge a utilizar en estas pruebas es el FLA-10-23-5L con resistencia de 120Ω y 10mm de longitud. Detalles de la posición y cantidad de estos dispositivos son presentados en la Tabla 3.20 y Figura 3.34.

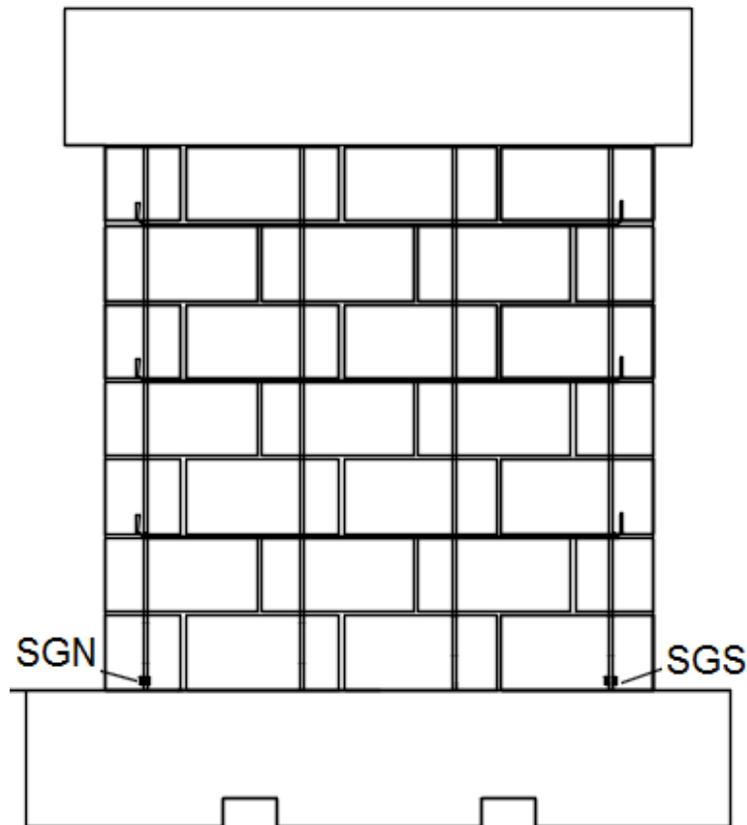


Figura 3.34: Instrumentación interna.

Identificación	Tipo	Localización	Propósito
SGN	FLA-10-23-5L	Costado Norte	Medir deformaciones en el acero de refuerzo vertical
SGS	FLA-10-23-5L	Costado Sur	Medir deformaciones en el acero de refuerzo vertical

Tabla 3.20: Strain Gauge utilizados en paredes.

3.6.4 Sistema de adquisición de datos

Este sistema consiste en la interconexión de diferentes dispositivos, los cuales miden, transmiten, descodifican y finalmente muestran información fácil de entender. De manera específica, los datos de carga medidos por la celda de carga, transductores de desplazamiento y medidores de deformación (Strain gauges), son transmitidos a un descodificador de datos (data logger) y después guardada y leída en una computadora. Un programa especial es usado para leer en tiempo real, fuerzas, desplazamiento y deformaciones, permitiendo graficar resultados durante el ensayo. El sistema de adquisición de datos se muestra en la Figura 3.35.



Figura 3.35: Descodificador de datos.

3.7 Estimación de resistencia a carga lateral

Las ecuaciones prácticas para el cálculo de la resistencia lateral y deformaciones de paredes de mampostería, han sido desarrolladas a través de la amplia serie de pruebas experimentales de paredes sometidas a cargas que simulan los efectos de los sismos. Aunque simplificadas, las ecuaciones reflejan los mecanismos de falla real.

(Tomazevic, 1999). El comportamiento histérico real de las paredes de mampostería sometida a una combinación de carga vertical constante y una secuencia de reversiones de carga lateral, puede ser representado por una envolvente de resistencia idealizada trilineal (Figura 3.36). Para idealizar la envolvente del comportamiento estructural de elementos de mampostería, se definen tres estados límites, los cuales son: límite de agrietamiento, resistencia máxima y estado final, los cuales se describen a continuación

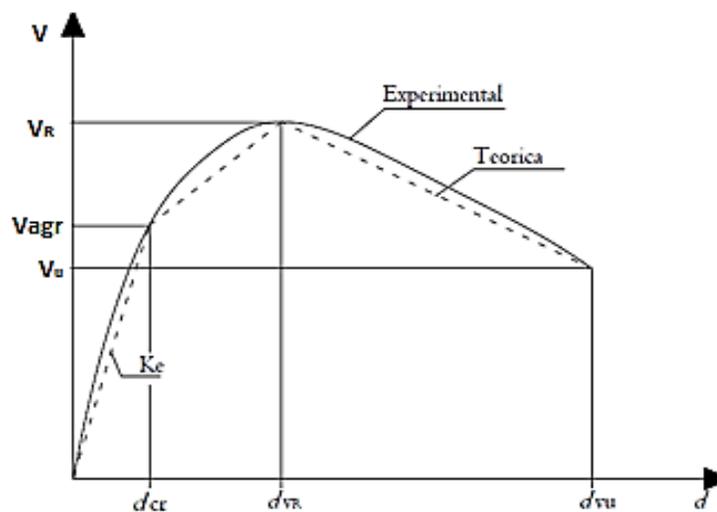


Figura 3.36: Envolvente de resistencia idealizada trilineal.

a) Límite de agrietamiento: Determinado por el desplazamiento d_{cr} y el cortante V_{agr} , en la formación de las primeras grietas importantes en la pared. En esta zona el comportamiento es aproximadamente lineal. Sin daño. Las variables influyentes en la resistencia al corte en esta zona son: la resistencia a compresión de la mampostería, la relación de aspecto H/L y la pre compresión sobre la pared. En esta zona no se reconoce participación del acero de refuerzo.

b) Resistencia máxima: Determinado por el cortante máximo V_R , alcanzado durante la prueba, y el desplazamiento correspondiente d_{VR} . En esta zona se presenta agrietamiento, la pared continúa resistiendo fuerza de corte, pero de forma no lineal. El corte máximo alcanzado depende en gran medida del acero de refuerzo. También participan las variables nombradas en la zona anterior.

c) Estado final: Determinado por el desplazamiento máximo alcanzado durante la prueba d_{vu} y al correspondiente cortante último V_u . En el modelo trilineal idealizado es la zona de degradación de resistencia. Se define el punto de falla como aquel donde la pared ha perdido un 20% de su resistencia máxima. Luego de alcanzado el punto de falla, la pared continúa resistiendo carga hasta colapsar. El acero de refuerzo horizontal colabora manteniendo la integridad de la pared y permitiendo que éste alcance una mayor deformación ultima.

- **Rigidez efectiva de la pared de mampostería reforzada.**

La pendiente inicial de la envolvente idealizada se define mejor con una línea secante a la formación de grietas, que se llama rigidez efectiva de la pared. Se calcula como el cociente entre la resistencia y el desplazamiento de la pared en el límite de agrietamiento. Tomazevic (1999).

$$K_e = \frac{V_{agr}}{d_{cr}} \quad [EC-3.12]$$

Dónde:

K_e : Es la rigidez efectiva en el rango elástico.

Se utilizará la siguiente expresión para el cálculo de la rigidez efectiva:

$$K_e = \frac{1}{\frac{h^3}{3EI} + \frac{1.2h}{AG}} \quad [EC-3.13]$$

Dónde:

h: Es la altura de la pared (140 cm)

I: Es el momento de inercia en la dirección de la deformación (2629666.67 cm⁴)

A: Es el área de la sección transversal del espécimen

G: Módulo de rigidez a cortante (de ensayo en prismas 14060 kg/cm²)

E: Módulo de elasticidad (de ensayo en prismas 30860 kg/cm²)

- **Determinación del desplazamiento máximo y ultimo**

En lo que corresponde a los tramos de la carga máxima y la carga última del modelo trilineal, existe una degradación de rigidez inicial debido al desarrollo de

grietas, el parámetro, α_1 define el desplazamiento correspondiente a la carga máxima d_{VR} , y varía por lo general entre 2 y 3, para este caso se tomará el valor medio de 2.5, α_1 será multiplicado por el valor del desplazamiento correspondiente a la carga de agrietamiento.

$$d_{VR} = \alpha_1 d_{cr} \quad [EC-3.14]$$

En lo que respecta al desplazamiento correspondiente a la carga última este puede determinarse multiplicando un factor de ductilidad correspondiente a las condiciones de ensayo por el valor obtenido para d_{cr} .

$$d_{vu} = \mu_u d_{cr} \quad [EC-3.15]$$

(Tomazevic, 1997). Expone los siguientes valores de ductilidad para paredes de mampostería.

Sistema Constructivo	Experimental (μ_{exp})	Diseño (μ_d)
Albañilería simple	2.4 a 3.8	2.0 a 3.0
Albañilería confinada	3.6 a 7.6	3.0 a 4.0
Albañilería armada	4.5 a 8.9	4 a 5

Tabla 3.21: Valores de ductilidad para paredes de mampostería. Fuente: Tomazevic, 1997.

Para determinar el desplazamiento correspondiente a la carga última, se utilizará un valor de ductilidad de 5, que está dentro de los valores propuestos por Tomazevic.

- **Calculo de cargas para modelo trilineal**

Las cargas calculadas teóricamente servirán para la idealización del comportamiento estructural de las paredes de mampostería reforzada en estudio, además, en base a la menor de las cargas calculadas, del agrietamiento inclinado de la pared y fluencia del acero del refuerzo vertical, se podrá proponer el historial de carga tal como lo establecen Las Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de Estructuras de mampostería de México (2004)

- ✓ **Carga de fluencia**

$$V_y = f_y A_s \quad [EC-3.16]$$

Dónde:

f_y = Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo vertical, igual a 3690 kg/cm² obtenido del ensayo de resistencia a tensión de barras de acero.

A_s = Área del acero de refuerzo longitudinal, correspondiente a la suma de todos los bastones del espécimen, igual a 3.55 cm²

$$V_y = 3690(3.55) = 13099.5 \text{ kgf}$$

$$V_y = 13.1 \text{ ton}$$

- ✓ **Carga de agrietamiento**

La Norma técnica complementarias para diseño y construcción de Estructuras de mampostería de México, sección 6 propone la siguiente ecuación para el cálculo de la carga de agrietamiento.

$$V_{agr} = FR (0.5v_m * A_T + 0.3P) \leq 1.5FR v_m * A_T \quad [EC-3.17]$$

Dónde:

P: Es la carga vertical que actúa sobre la pared, se mantendrá constante con una presión medida por el gato hidráulico de 1000 psi y en conjunto al peso de la viga producen una carga vertical de 7 ton.

*V_m**: Es la resistencia de diseño a compresión diagonal de la mampostería (5.62 kg/cm² de ensayos a prismas a compresión diagonal).

A_T: Es el área efectiva de la sección transversal de la pared (ver EC-3.18).

$$A_T = b_w d \quad [EC-3.18]$$

Dónde:

b_w: Es el espesor efectivo de la pared (11.5 para celdas llenas @ 40 cm).

d: Es el peralte efectivo igual a 0.8L_w.

$$A_T = 11.5 (0.8) (140) = 1288 \text{ cm}^2$$

F_R= Factor de resistencia igual a 1 para la predicción

$$V_{agr} = [0.5 (5.62) (1288) + 0.3 (7000)] \leq [1.5 (5.62) (1288)]$$

$$V_{agr} = 5719.28 \leq 10857.84$$

$$\mathbf{V_{agr} = 5.7 \text{ ton}}$$

✓ **Carga máxima**

La resistencia máxima V_R a corte de la mampostería reforzada es el resultado de las contribuciones de la mampostería V_{agr} , el acero de refuerzo horizontal V_{sh} , y el acero de refuerzo vertical a través del efecto de dovela V_{sv} . Para este caso solo se tomará en cuenta la contribución de la mampostería y la contribución del acero de refuerzo horizontal.

$$V_R = V_{agr} + V_{sh} \quad [EC-3.19]$$

Para determinar la contribución por cortante del acero horizontal, se ha tomado como base lo recomendado por las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería de México, la cual considera un factor de eficiencia del acero horizontal, ya que experimentalmente se ha determinado que el confinamiento dado por el mortero no es efectivo, y que los esfuerzos desarrollados en las varillas son menores que la capacidad elástica de las mismas.

$$V_{sh} = \eta \rho_h f_{yh} A_T \quad [EC-3.20]$$

Dónde:

η : Es el factor de eficiencia depende esencialmente de la cuantía de acero de refuerzo horizontal y el esfuerzo de fluencia. Como $\rho_h f_{yh} = 0.13 \text{ MPa} < 0.6 \text{ MPa}$, $\eta = 0.6$.

ρ_h : Cuantía de refuerzo horizontal igual a 0.00070

f_{yh} : Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo horizontal, igual a 2370 kg/cm² obtenido del ensayo de resistencia a tensión de barras de acero de refuerzo.

$$V_{sh} = (0.6) (0.0007) (2370) (1288) = 1274 \text{ kgf}$$

$$V_{sh} = 1.3 \text{ ton}$$

La resistencia máxima es la suma de las contribuciones de la mampostería y la del refuerzo horizontal tal como lo establece la (EC. 3.19)

$$V_R = V_{agr} + V_{sh} = 5.7 + 1.3$$

$$V_R = 7.0 \text{ ton}$$

✓ Carga ultima

La carga última de las paredes puede ser calculada como una disminución del 20% de la carga máxima calculada.

$$V_U = 0.8 (V_R)$$

$$V_U = 5.6 \text{ ton}$$

• Calculo de desplazamientos para modelo trilineal

✓ Desplazamiento producto de la carga de agrietamiento

De la [EC-3.12] se tiene que: $K_e = \frac{V_{agr}}{d_{cr}}$

Despejando para d_{cr}

$$d_{cr} = \frac{V_{agr}}{K_e}$$

De la [EC-3.13] tenemos:

$$K_e = \frac{1}{\frac{140^3}{3(30860)(2629666.67)} + \frac{1.2(140)}{1288(14060)}} = 48666.3 \text{ kg/cm}$$

$$d_{cr} = \frac{5719.28}{48666.3} = 0.12 \text{ cm}$$

$$d_{cr} = 1.2 \text{ mm}$$

✓ **Desplazamiento producto de la carga máxima**

De [EC-3.14] se tiene que:

$$d_{vR} = 2.5 d_{cr}$$

$$d_{vR} = 2.5 (1.2)$$

$$d_{vR} = 3.0 \text{ mm}$$

✓ **Desplazamiento producto de la carga ultima.**

De [EC-3.15] se tiene que: $d_{vu} = 5 d_{cr}$

$$d_{vu} = 5(1.2)$$

$$d_{vu} = 6 \text{ mm}$$

PUNTO	CARGA (ton)	DESPLAZAMIENTO (mm)
AGRIETAMIENTO	5.7	1.2
MAXIMO	7.0	3.0
ULTIMO	5.6	6

Tabla 3.22: Puntos del modelo trilineal.

- **Ecuaciones que rigen los tramos del modelo trilineal.**

- ✓ **Zona I:** tramo de carga hasta el agrietamiento.

Puntos: (0.00cm, 0.00 ton), (0.12 cm, 5.7 ton)

Basándose en la ecuación lineal en la forma pendiente intercepto se obtiene la siguiente expresión que rige el tramo de carga hasta el agrietamiento:

$$V=47.5 d \quad [EC-3.21]$$

- ✓ **Zona II:** tramo de carga hasta el cortante máximo.

Puntos: (0.12 cm, 5.7 ton), (0.3 cm, 7.0 ton)

Basándose en la ecuación lineal en la forma pendiente intercepto se obtiene la siguiente expresión que rige en el tramo de carga del cortante de agrietamiento hasta el cortante máximo:

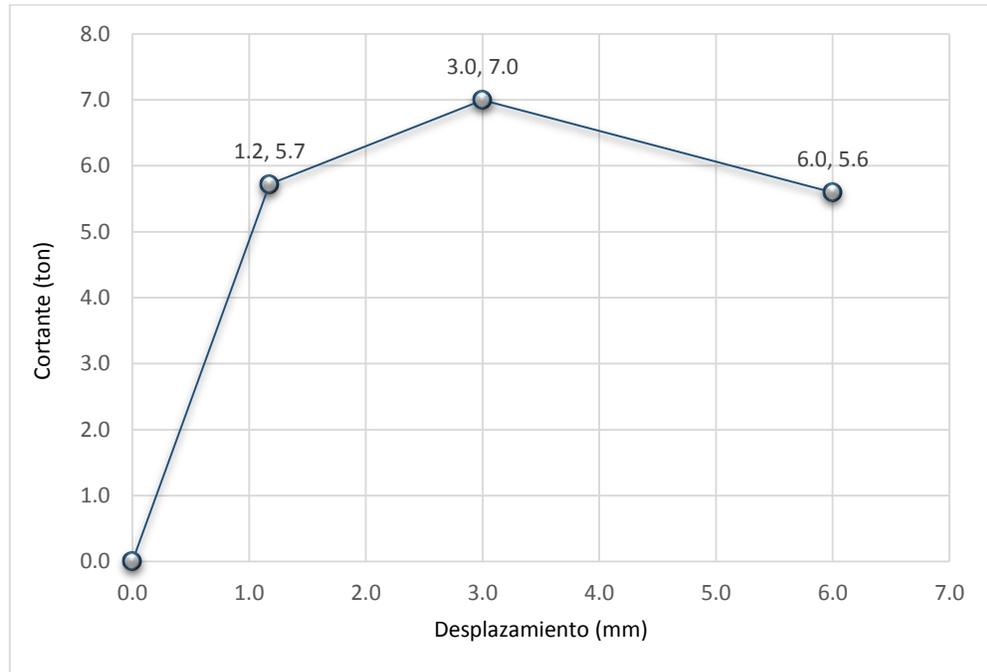
$$V=7.2 (d-0.12) +5.7 \quad [EC-3.22]$$

- ✓ **Zona III:** tramo de carga hasta el cortante último.

Puntos: (0.3 cm, 7.0 ton), (0.6 cm, 5.6 ton)

Basándose en la ecuación lineal en la forma pendiente intercepto se obtiene la siguiente expresión que rige el tramo de carga del cortante máximo hasta el cortante último:

$$V=7.0- 4.7 (d-0.3) \quad [EC-3.23]$$



Gráfica 3.3: Propuesta de envolvente de resistencia teórica.

CAPÍTULO 4

ENSAYO A PAREDES DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

CAPITULO 4: ENSAYO A PAREDES DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos en la primera fase de ensayos, donde tres paredes de bloque de concreto con refuerzo integral fueron sometidas a cargas laterales cíclicas y carga vertical constante.

La primera pared fue de referencia y se ensayó hasta alcanzar su resistencia última, con el objetivo de conocer el comportamiento típico y patrones de falla de las paredes en estudio. A través del comportamiento de esta pared se determinó el nivel de carga máxima que se aplicaría a las dos paredes restantes, para producir en ellas un nivel de daño moderado.

Durante los ensayos a todas las paredes se les aplicó una carga vertical constante de 7 ton, la cual es equivalente a una presión normal en la pared de 3.6 kg/cm^2 , tal como se describió en el apartado 3.6. La nomenclatura utilizada para la identificación de las paredes se muestra en la Tabla 4.1.

Espécimen	Nomenclatura
1	BC-M01
2	BC-M02
3	BC-M03

Tabla 4.1: Nomenclatura utilizada para la identificación de paredes.

4.1 Definición de parámetros

En este apartado se definen algunos de los parámetros utilizados en la interpretación del comportamiento de las paredes, sometidas a cargas laterales.

4.1.1 Histéresis y distorsión

- Histéresis

Se entiende por histéresis a la medida de la capacidad de una estructura de disipar energía por medio de deformaciones inelásticas, la cual es disipada por el aumento en el amortiguamiento de la estructura. La curva histerética es la resultante de graficar los valores de carga lateral aplicada versus la deformación que cada una de estas produce. Entre mayor sea el área que encierra la curva histerética, mayor será la energía disipada.

- Distorsión

Se le llama distorsión al cociente entre el desplazamiento lateral de la estructura (o espécimen) y la altura a la cual se está midiendo dicho desplazamiento (ver Figura 4.1). En la práctica es común que la curva histerética se construya utilizando las distorsiones producidas durante el ensayo, en lugar de las deformaciones.

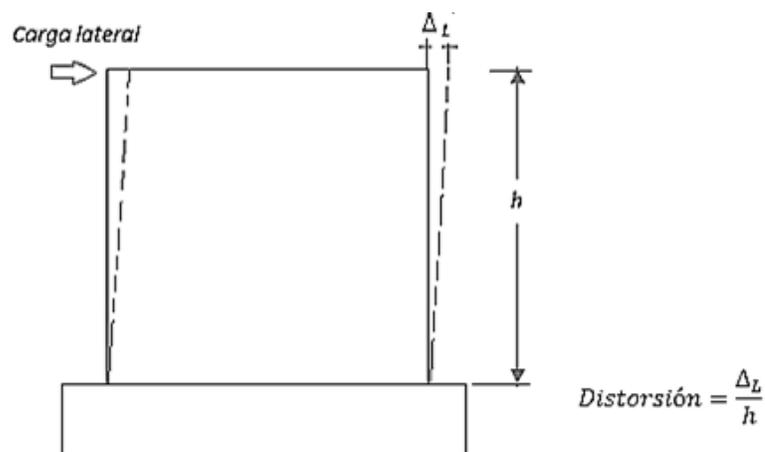


Figura 4.1: Ilustración del parámetro de distorsión

4.1.2 Envolvente de respuesta

Es la envolvente resultante de unir los picos en cada semiciclo de la curva histerética (ver Figura 4.2). La envolvente permite identificar el momento en el que la pared abandona el rango elástico, es decir cuando deja de tener un comportamiento lineal, lo cual se encuentra asociado al primer agrietamiento significativo de la pared, además permite la verificación de otros datos, como: carga máxima, carga ultima y desplazamientos alcanzados por el elemento estructural.

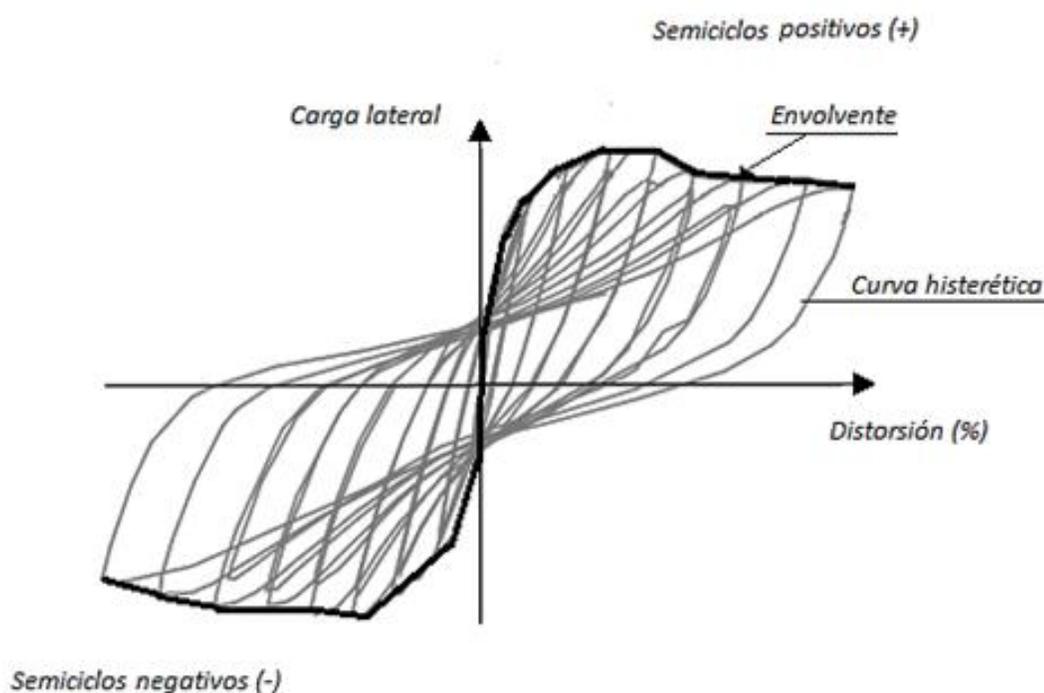


Figura 4.2: Envolvente de respuesta.

4.1.3 Rigidez

La rigidez se define como la capacidad de una estructura o elemento estructural de resistir cargas sin deformarse o desplazarse excesivamente. Es una propiedad que se degrada a medida que aumenta la demanda en el elemento estructural, para poder evaluar la degradación de la rigidez, es necesario determinar la rigidez remanente en cada ciclo de carga.

La rigidez de ciclo es la pendiente de la recta que une a los puntos máximos de la curva histerética en cada ciclo. En la Figura 4.3 se puede observar como la pendiente en el último ciclo es mucho menor a la mostrada en el primer ciclo.

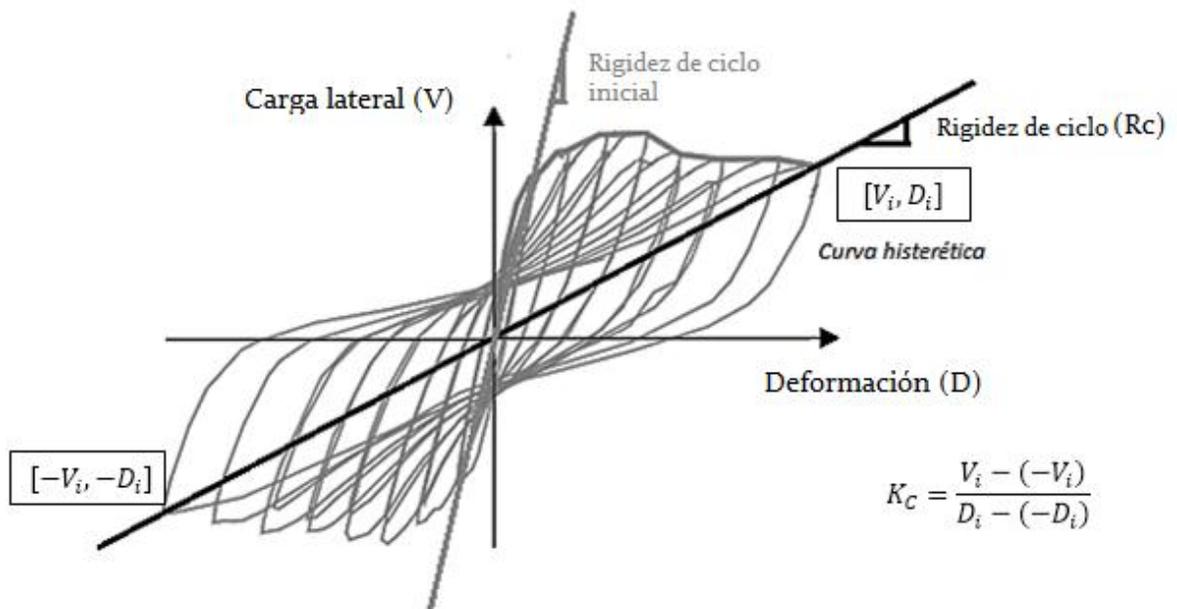


Figura 4.3: Rigidez de ciclo

4.2 Ensayo de la pared BC-M01

Esta pared fue de control y se ensayó hasta alcanzar su resistencia última, sirvió de referencia y su comportamiento real y patrón de falla, ayudó a definir la carga necesaria para provocar en las otras paredes un nivel de daño moderado. En todos los ensayos se aplicó una carga vertical constante como se describió anteriormente.

La instrumentación utilizada para medir desplazamientos fue según lo descrito en el apartado 3.6.3. La pared fue sometida a 8 ciclos de carga completos y un semiciclo. A continuación, se presentan los resultados obtenidos del ensayo pseudoestático ciclo con carga vertical constante al que se sometió al espécimen.

4.2.1 Evolución del daño

La prueba se controló por carga en su totalidad, se comenzó a aplicar carga en busca del primer agrietamiento significativo de la mampostería. El primer evento importante fue la fluencia del acero de refuerzo vertical ubicado en el extremo sur del espécimen ($\varepsilon_y = 0.001760$, según los resultados de los ensayos a tensión de barras de acero), que se presentó durante el semiciclo +2 bajo una distorsión de 0.08% y una degradación de rigidez del 14.7%. A partir de este punto se consideró que la pared abandonó el rango elástico. Durante los siguientes semiciclos no se detectaron más eventos importantes en el desarrollo de la prueba, fue hasta el semiciclo -4 que se presentó la primera grieta por flexión en

la base de la pared producto de una carga lateral de -4 ton, que provocó una distorsión de -0.19 %. Las primeras grietas por cortante se presentaron combinadas con fallas por fricción, donde la adherencia entre el mortero y las unidades de mampostería fue superada por la fuerza cortante aplicada, dichas grietas se formaron en el semiciclo -6 con una carga lateral de -6 ton y una distorsión de -0.39% (ver Figura 4.4). En el semiciclo +7 se marcó claramente el puntal de compresión en la mampostería, presentando rupturas en algunos bloques, producto de una carga lateral de 7 ton, la cual provocó una distorsión de 0.70 % (ver Figura 4.5). El máximo ancho de grieta residual medido fue de 1.5 mm. La resistencia máxima se presentó en el semiciclo +8 con una carga lateral aplicada de 8 ton y una distorsión de 1.34%. La falla de la pared se presentó en el semiciclo -9, donde luego de alcanzar las -8 ton a una distorsión de -1.58%, la pared presentó una disminución de resistencia y aumentó su desplazamiento, llegando a una distorsión de -2.16%. El ancho de grieta residual medido fue de 6 mm, además se observó aplastamiento en las esquinas inferiores y desprendimiento de piezas (ver Figura 4.6).

En cuanto al refuerzo vertical se observó que no se presentaron fallas, sin embargo, según los datos de la instrumentación interna, el refuerzo alcanzó grandes deformaciones unitarias llegando a un valor máximo de $\varepsilon_{m\acute{a}x} = 0.023135$, el cual representa un 11.6% de la deformación unitaria de ruptura obtenida del ensayo a tensión de las varillas de acero ($\varepsilon_u = 0.2$).

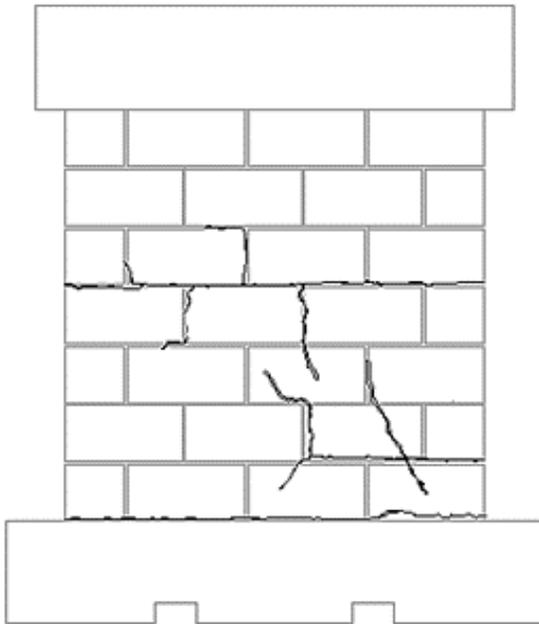


Figura 4.4: Patrón de grietas en el semiciclo -6
[Carga= -6 ton, Distorsión=-0.39%]

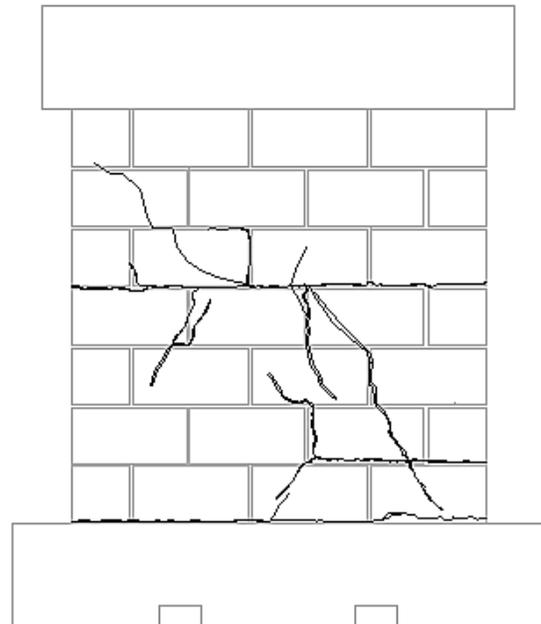


Figura 4.5: Patrón de grietas en el semiciclo +7
[Carga= 7 ton, Distorsión=+0.70%]

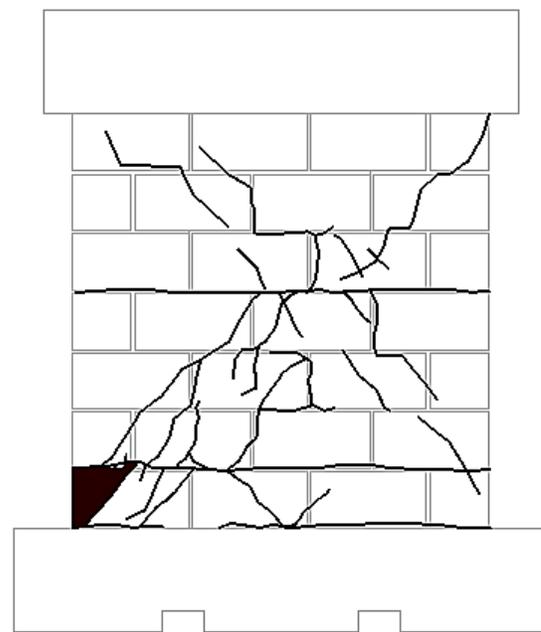
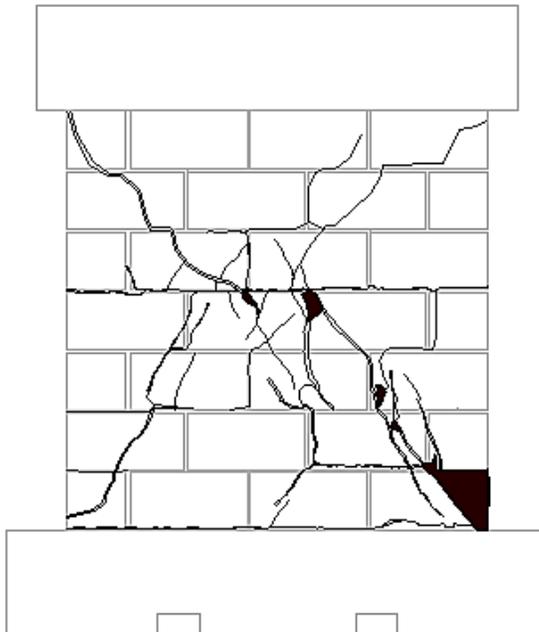
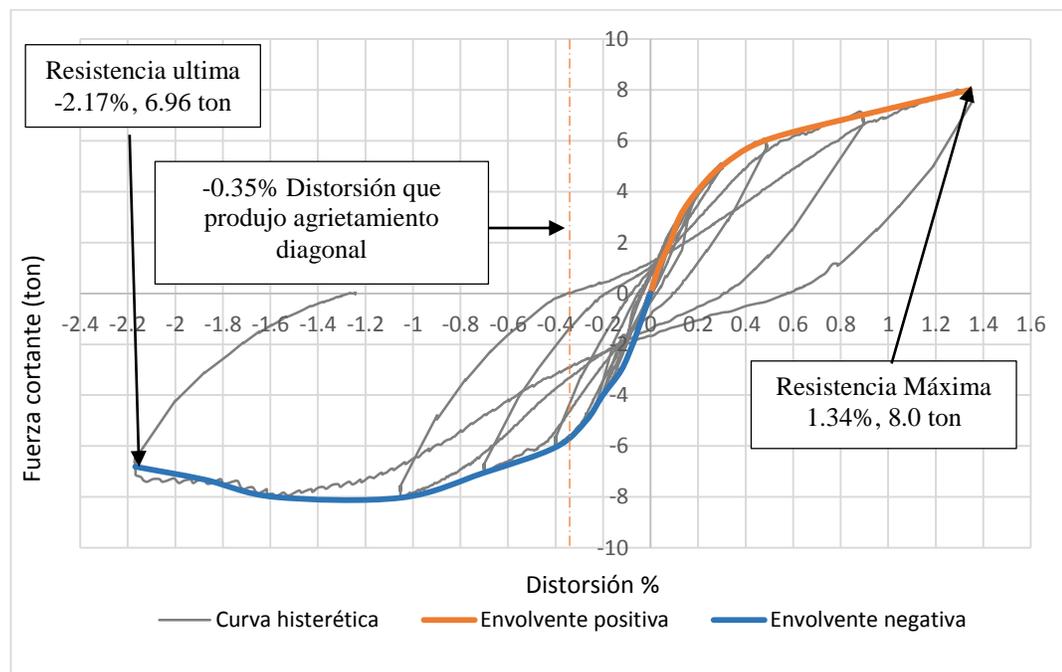


Figura 4.6: Esquema del estado final del daño, pared BC-M01
[Izquierda: Vista Oeste. Derecha: Vista Este]

4.2.2 Comportamiento histérico

La curva histérica es presentada en el Gráfica 4.1, donde puede observarse un comportamiento bastante uniforme en los primeros ciclos, es a partir del primer agrietamiento por corte en la mampostería producido aproximadamente a una distorsión de -0.35%, que se presentan aumentos significativos en el área que encierran los lazos de histéresis, incrementando la disipación de energía mediante deformaciones permanentes.

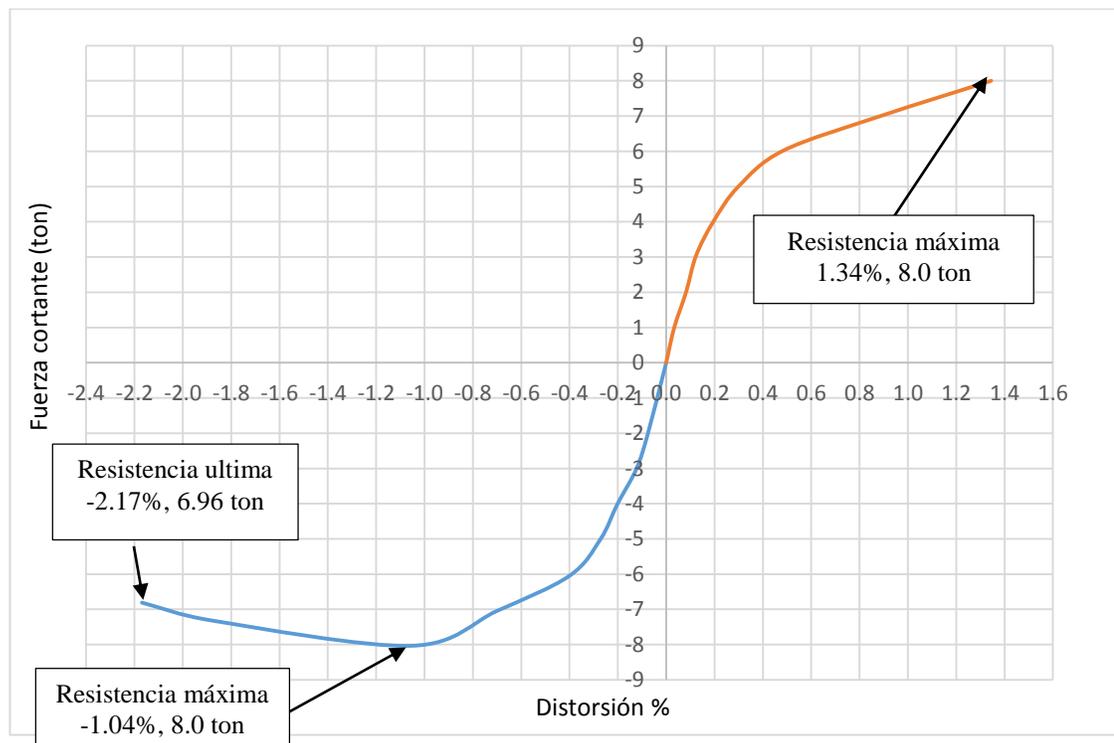


Gráfica 4.1: Curva histérica y envolventes de carga, pared BC-M01

4.2.3 Envolverte de respuesta.

En la Gráfica 4.2 se muestra la curva envolvente, la cual representa la respuesta de la pared ante la carga cíclica aplicada. La resistencia máxima fue de 8 ton alcanzada a una distorsión de -1.04 % en la envolvente negativa, y 1.34% en la

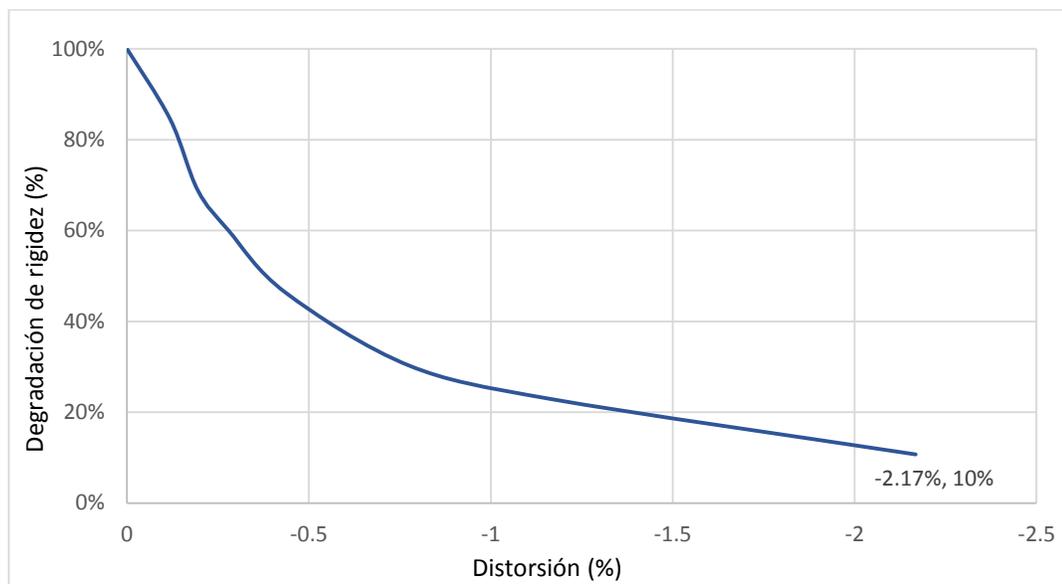
envolvente positiva. La falla se alcanzó a una carga de 6.96 ton y una distorsión de -2.17%, en la cual concluyó el ensayo, es por esa razón que se puede observar que la envolvente negativa alcanza una distorsión mayor con respecto a la envolvente positiva.



Gráfica 4.2: Envolvente de respuesta, pared BC-M01.

4.2.4 Degradación de rigidez

La pared BC-M01 mostró una rigidez inicial de 18.12 ton/cm. En la Gráfica 4.4 se muestra la curva de degradación de rigidez de la pared, donde se puede observar que la mayor tasa de degradación se presentó en los primeros ciclos del ensayo. La rigidez final fue el 10% de la rigidez inicial, es decir tuvo una degradación del 90%.



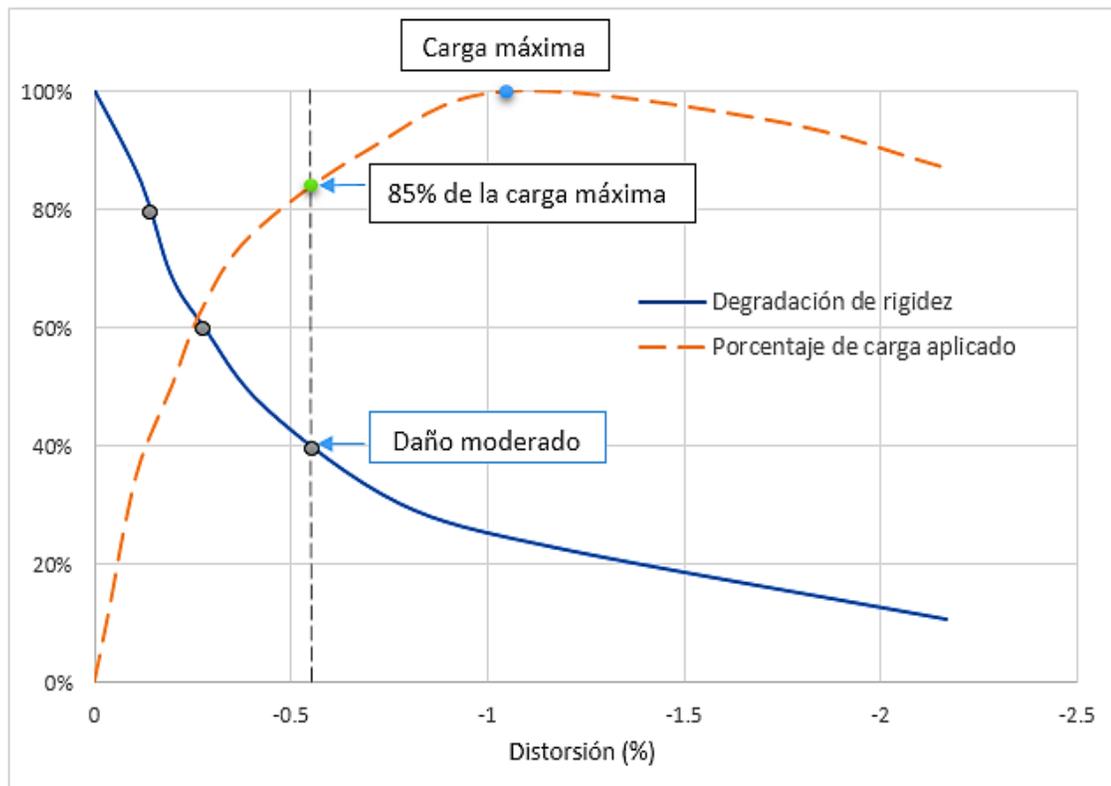
Gráfica 4.3: Degradación de rigidez, pared BC-M01

4.2.5 Niveles de daño

En el apartado 2.4.4 se presentaron los niveles de daño definidos en FEMA 306 para paredes de mampostería reforzada, además se estableció que la rigidez de los componentes es la propiedad más sensible ante la ocurrencia de daños. Cada nivel de daño propuesto en FEMA 306, se encuentra relacionado a un factor de modificación de rigidez, que representa el porcentaje de modificación del parámetro con respecto a su condición original. Por ejemplo, para un nivel de daño insignificante se tiene un factor (λ_k) de 0.8, es decir que la rigidez se ha degradado en un 20% con respecto a la condición original.

En el capítulo 2 se estableció que las paredes BC-M02 y BC-M03 serían llevadas a un nivel de daño moderado, al cual se le atribuye un factor (λ_k) de 0.4, es decir cuando la rigidez original se haya degradado en un 60%, en el Gráfica 4.5 se

puede observar que en la pared patrón (BC-M01) esto ocurre al alcanzar el 85% de su carga máxima (6.8 ton), por lo tanto, esta será la carga máxima a aplicar a las paredes BC-M02 y BC-M03 para producir en ellas un nivel de daño moderado.



Gráfica 4.4: Degradación de rigidez vs porcentaje de carga aplicado, pared BC-M01

En la Tabla 4.2 se presentan los factores de modificación de rigidez, los niveles de daños alcanzados por la pared durante la prueba con su respectiva apariencia y descripción.

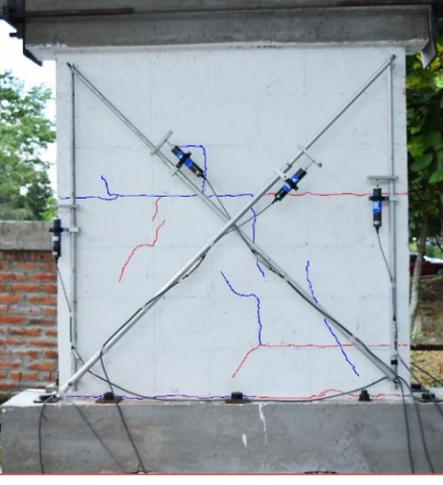
DAÑO	APARIENCIA	OBSERVACIONES
<p>Insignificante</p> <p>$\lambda_k = 0.8$</p>		<p>El daño es imperceptible no existen grietas.</p> <p>El acero de refuerzo vertical en el extremo sur ya ha fluido.</p> <p>La pared ha abandonado el rango elástico.</p>
<p>Leve</p> <p>$\lambda_k = 0.6$</p>		<p>Se presentan las primeras grietas asociadas a la flexión,</p>
<p>Moderado</p> <p>$\lambda_k = 0.4$</p>		<p>Existen grietas asociadas a la flexión en los costados de la pared además de existir grietas asociadas a cortante en sentido diagonal.</p> <p>En las esquinas inferiores se observa el inicio de aplastamientos.</p>



Tabla 4.2: Factores de modificación y niveles de daño, pared BC-M01.

4.3 Ensayo de la pared BC-M02

Esta pared fue ensayada hasta producir en ella un daño moderado, tal como se estableció en el apartado 4.2.5. El ensayo fue controlado por carga de principio a fin, realizando repeticiones de carga para cada ciclo. El total de ciclos al que se sometió la pared fue de 8.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del ensayo pseudoestático cíclico con carga vertical constante al que se sometió a la pared BC-M02. La instrumentación fue según lo descrito en el apartado 3.5.3.

4.3.1 Evolución del daño

Durante los primeros dos ciclos donde la carga aplicada era de 2 ton, no se observaron eventos importantes en el desarrollo de la prueba, es hasta el semiciclo -3 donde aparecen las primeras grietas por flexión en el costado norte de la pared (ver Figura 4.7), producto de una carga lateral de 3.5 ton, provocando

una distorsión de -0.15%. Además, en este semiciclo el acero de refuerzo vertical en el extremo norte de la pared alcanzó su deformación unitaria de fluencia ($\varepsilon_y = 0.001760$), bajo una distorsión de -0.11% y una degradación de rigidez del 24.5%. A partir de este punto se considera que la pared abandonó el rango elástico. Al finalizar los semiciclos +4 y -4, se formaron nuevas grietas horizontales en ambos costados de la pared (ver Figura 4.8).

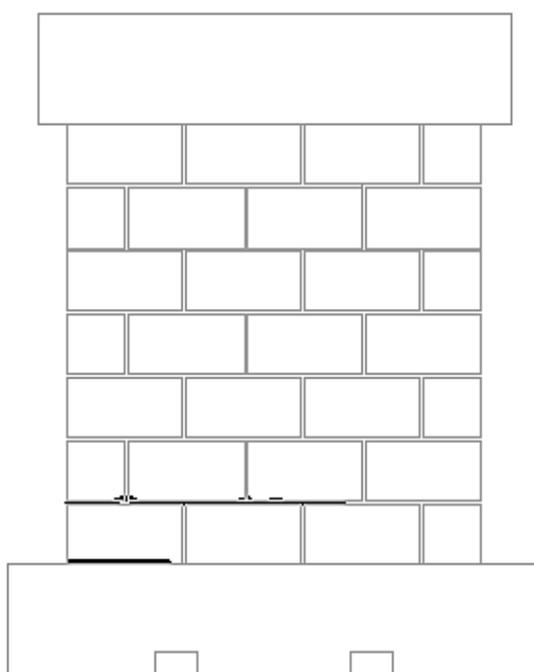


Figura 4.7: Patrón de grietas en el semiciclo -3
[Carga= -3.5 ton, Distorsión=-0.15%]

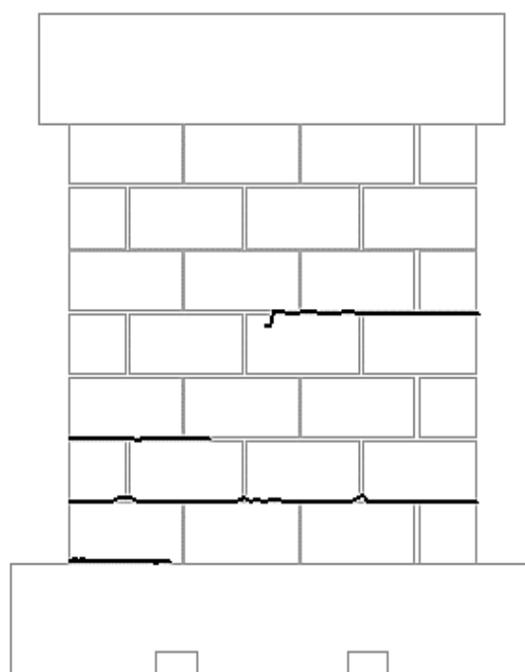


Figura 4.8: Patrón de grietas al finalizar el
semiciclo -4

La primera grieta por cortante ocurrió de forma escalonada, con un ancho residual de 0.6 mm, apareciendo en el semiciclo - 5, en el cual se aplicó una carga lateral de 5 ton provocando una distorsión de -0.27% (ver Figura 4.9).

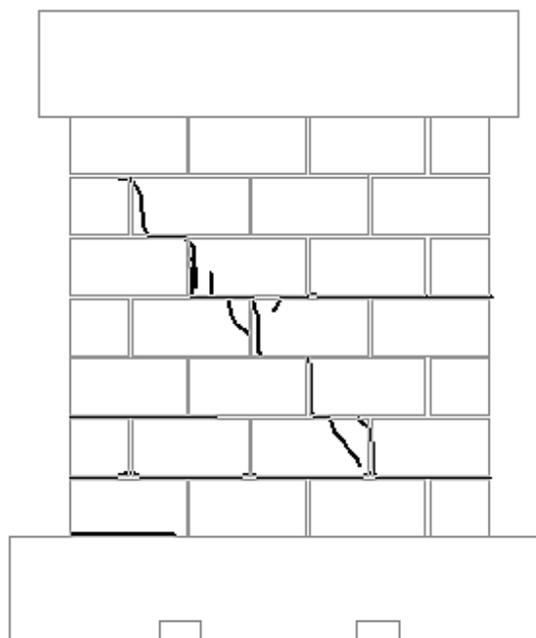


Figura 4.9: Patrón de grietas en el semiciclo -5 [Carga= -5 ton, Distorsión=-0.27%]

4.3.2 Estado final del daño

El ensayo finalizó en el ciclo 8, donde la carga lateral aplicada fue de 6 ton. En la Figura 4.10 se puede observar una grieta por cortante de forma escalonada en dirección opuesta a la primera. Al finalizar el ciclo se observó el inicio del aplastamiento en la esquina inferior sur de la pared. El máximo ancho de grieta residual registrado fue de 0.8 mm. Según lo establecido en la sección 4.2, se tenía previsto finalizar el ensayo cuando la pared alcanzara una degradación de rigidez aproximadamente del 60% y empezara el aplastamiento en las esquinas de la pared. Según los resultados del primer ensayo, esto se lograría al aplicar una carga lateral de 6.8 ton, pero al observar la degradación alcanzada por el espécimen al final del octavo ciclo, se decidió finalizar la prueba, ya que mostró un deterioro más acelerado con respecto a la pared BC-M01. Con respecto al

acero de refuerzo vertical de la mampostería se observó que la deformación unitaria máxima que este alcanzó ($\varepsilon_{m\acute{a}x} = 0.018019$), fue un 9.0% de la deformación de ruptura del mismo ($\varepsilon_{m\acute{a}x} = 0.2$).

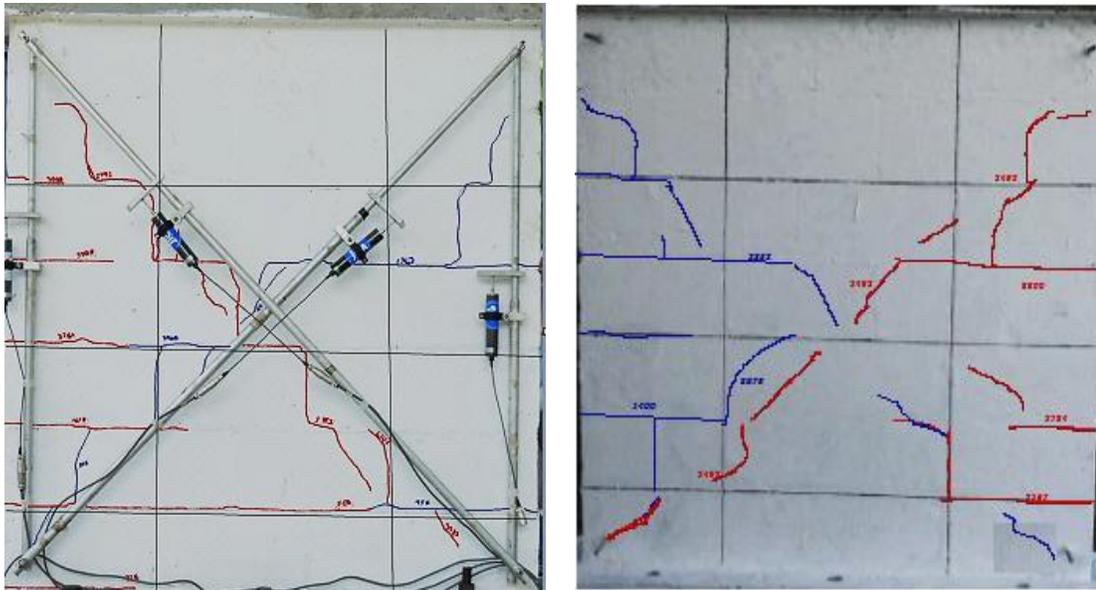
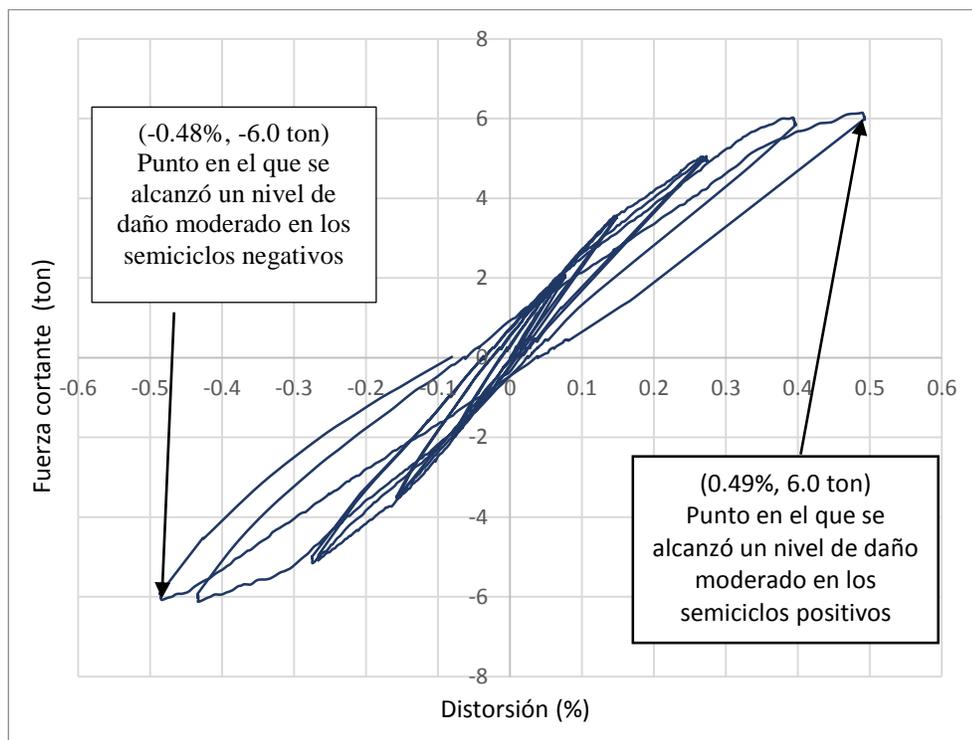


Figura 4.10: Estado de daño final de BC-M02. [Izquierda: vista oeste. Derecha: vista este]

4.3.3 Comportamiento histéretico

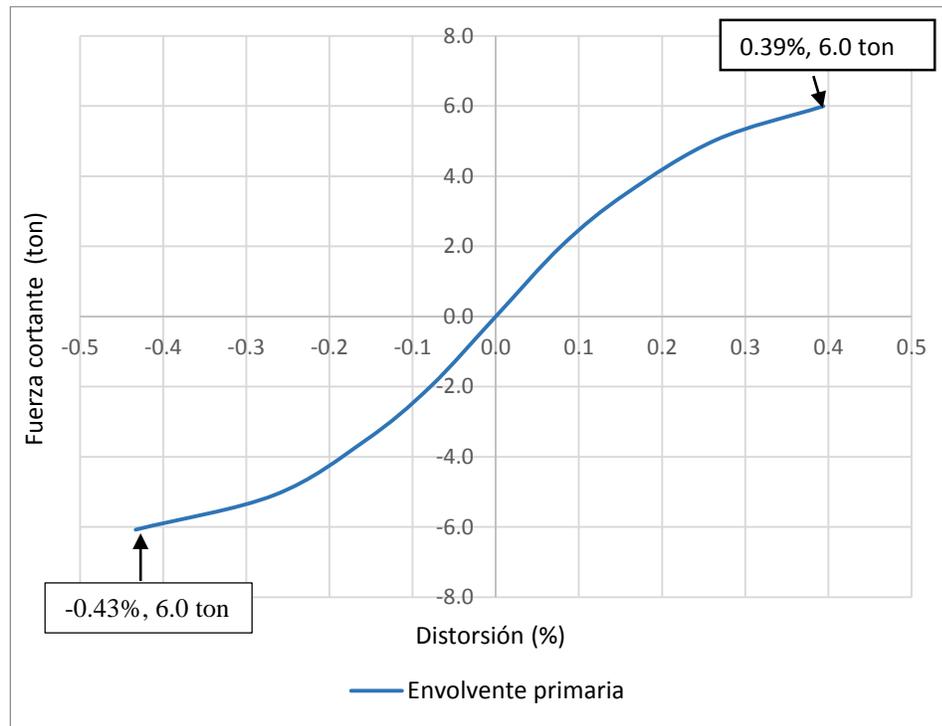
El comportamiento histéretico es presentado en la Gráfica 4.6, durante los primeros ciclos se puede observar que el lazo formado en cada semiciclo, se mantuvo relativamente unido, ya que aún no se habían presentado grandes daños en la pared, pero en los últimos 2 ciclos se aprecia una mayor degradación de rigidez, mostrando una disminución en la pendiente de cada laso, los cuales aumentaron sus aberturas disipando energía mediante mayores deformaciones permanentes.



Gráfica 4.5: Curva de histéresis, pared BC-M02

4.3.4 Envoltente de respuesta.

En la Gráfica 4.7 se presenta la envoltente de respuesta de la pared, en este documento se entenderá por envoltente primaria, a la curva que se genera al unir los picos de los lazos de histéresis de los ciclos primarios. Se observa que en los semiciclos positivos la distorsión máxima que alcanzó el espécimen, fue de 0.39% bajo una carga de 6.0 ton, mientras que en los semiciclos negativos la pared alcanzó una distorsión de -0.43% al aplicar la misma carga.

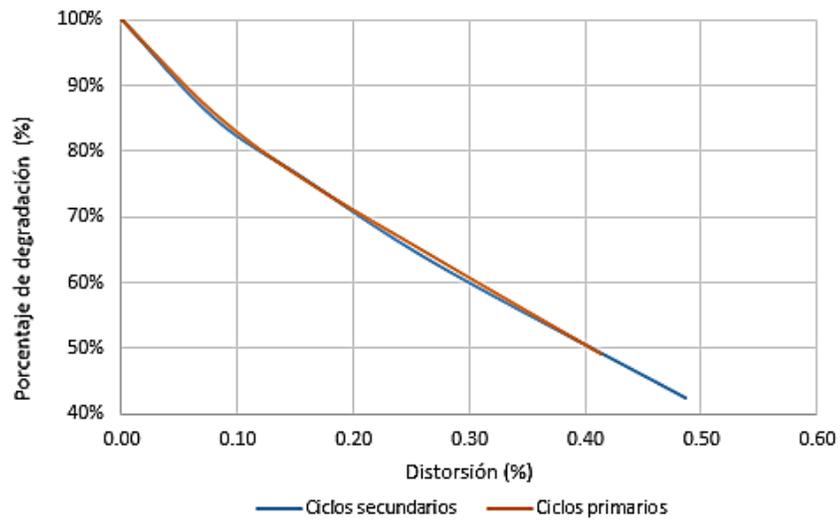


Gráfica 4.6: Envoltente de respuesta, pared BC-M02.

4.3.5 Degradación de rigidez.

La rigidez inicial de la pared fue de 18.17 ton/cm. En la Gráfica 4.8 se presenta la curva de degradación de rigidez del espécimen, donde se puede observar que la rigidez al final del ensayo se había reducido a un 42% de la rigidez inicial.

En la Figura 4.11 se muestra la apariencia de la pared al final de la prueba, y la apariencia propuesta en FEMA 306, para una rigidez remanente del 40% en paredes de mampostería reforzada donde el comportamiento a cortante es predominante.



Gráfica 4.7: Curva de degradación de rigidez de la pared BC-M02.

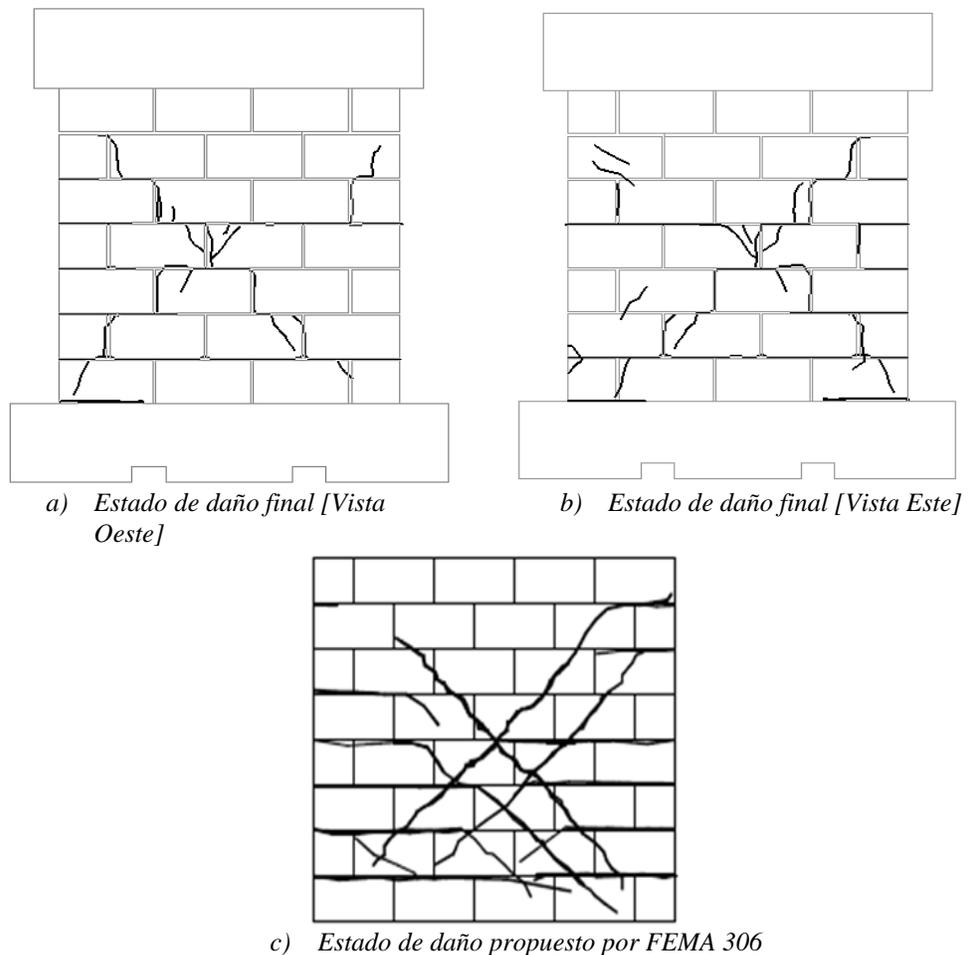


Figura 4.11: Daño moderado, rigidez degradada aproximadamente a un 40%.

4.4 Ensayo de la pared BC-M03

El tercer espécimen ensayado fue la pared BC-M03, al igual que las dos paredes anteriores fue sometida a una carga vertical constante de 7 ton, y fue cargada hasta producir en ella un nivel de daño moderado, tal como se estableció en el apartado 4.2.5.

El ensayo fue controlado por carga de principio a fin, realizando repeticiones de carga para cada ciclo. El total de ciclos al que se sometió a la pared fue de 10.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del ensayo pseudoestático cíclico con carga vertical constante al que se sometió a la pared BC-M03R. La instrumentación fue según lo descrito en el apartado 3.5.3

4.4.1 Evolución del daño.

Durante los primeros dos ciclos donde la carga aplicada era de 2 ton, no se observaron eventos importantes en el desarrollo de la prueba, es hasta el semiciclo + 3 donde se presentó la primera grieta por flexión en el costado sur de la pared (ver Figura 4.12), producto de una carga de 3.5 ton y una distorsión de 0.13%. Al finalizar el cuarto ciclo el único cambio registrado fue la aparición de una grieta horizontal en el costado norte de la pared (ver Figura 4.13). La deformación de fluencia del acero de refuerzo vertical en el extremo norte del espécimen ($\varepsilon_y = 0.001760$), se superó antes de completar el semiciclo - 5, bajo una distorsión de -0.16% y una degradación de rígenes del 17.1%. La primera

grieta por cortante ocurrió en el semiciclo + 7, donde la carga aplicada era de 6 ton, provocando una distorsión de 0.35% (Figura 4.14).

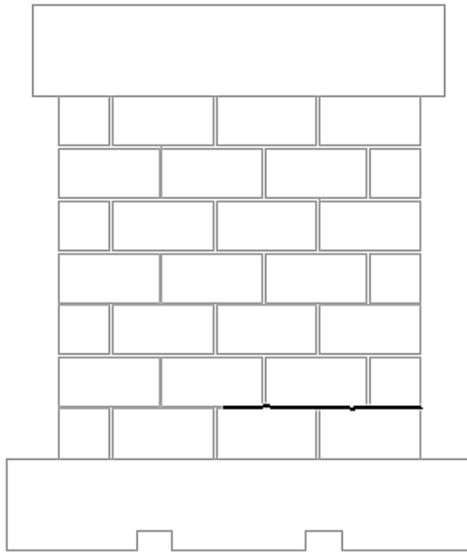


Figura 4.12: Patrón de grietas en el semiciclo +3 [Carga= 3.5 ton, Distorsión=0.13%]

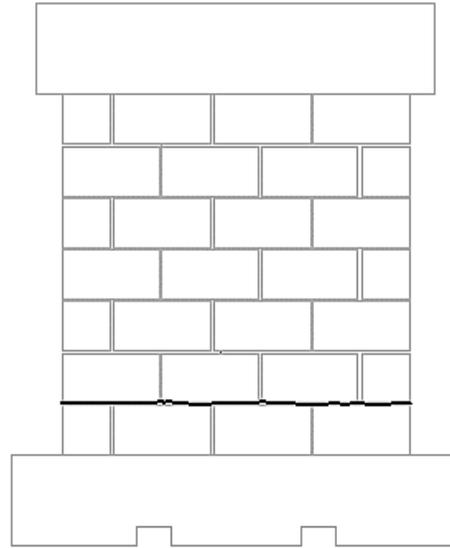


Figura 4.13: Patrón de grietas al final del cuarto ciclo.

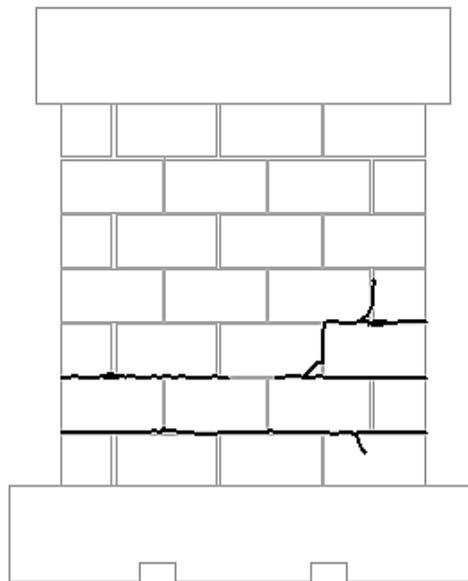


Figura 4.14: Patrón de grietas en el semiciclo +7 [Carga= 6 ton, Distorsión=0.35%]

4.4.2 Estado final del daño

El ensayo finalizó en el ciclo 10, donde la carga aplicada fue de 6.8 ton, tal como se estableció en el apartado 4.2. El máximo ancho de grietas residual registrado fue de 0.8 mm. En la Figura 4.15 se presenta una fotografía de la condición de la pared en el último ciclo de carga, como puede observarse, la grieta por cortante no logró definirse completamente, predominando entonces las grietas por flexión. La deformación unitaria máxima que alcanzó el refuerzo vertical de la mampostería ($\varepsilon_{m\acute{a}x} = 0.012061$), fue el 6.0% de la deformación de ruptura del mismo ($\varepsilon_u = 0.2$).

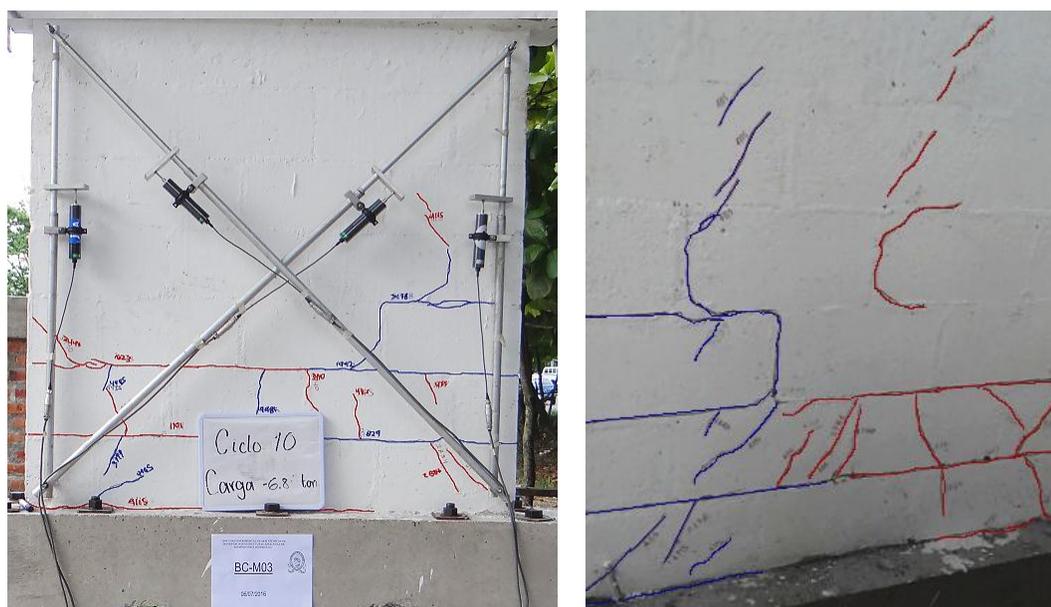
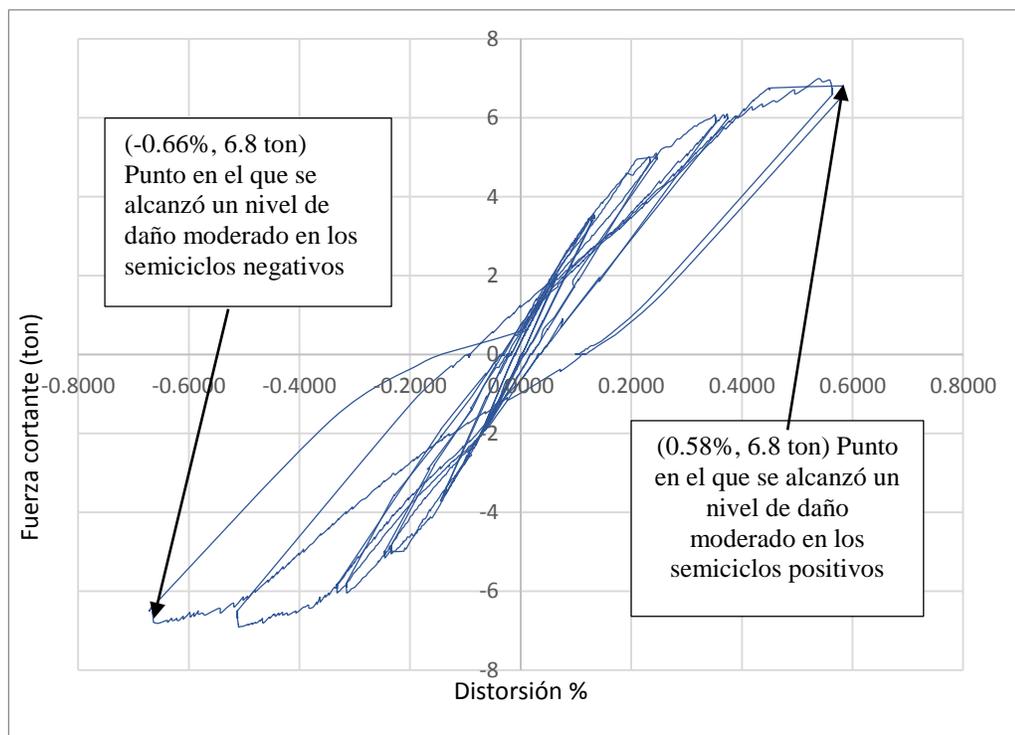


Figura 4.15: Estado de daño final BC-M03. [Izquierda: Vista Oeste; Derecha: Vista Este]

4.4.3 Comportamiento histéretico

En la Gráfica 4.9 se presenta la curva de histéresis del espécimen BC-M03, se observa que la distorsión máxima alcanzada por la pared en los semiciclos

positivos fue de 0.58%, mientras que en los semiciclos negativos de -0.66%. Además, se puede identificar que la pendiente de los lazos permanece constante hasta el sexto ciclo, donde se aplicó una carga lateral de 5 ton. En el último par de ciclos, los lazos se abren significativamente, debido al aumento del daño en la pared.

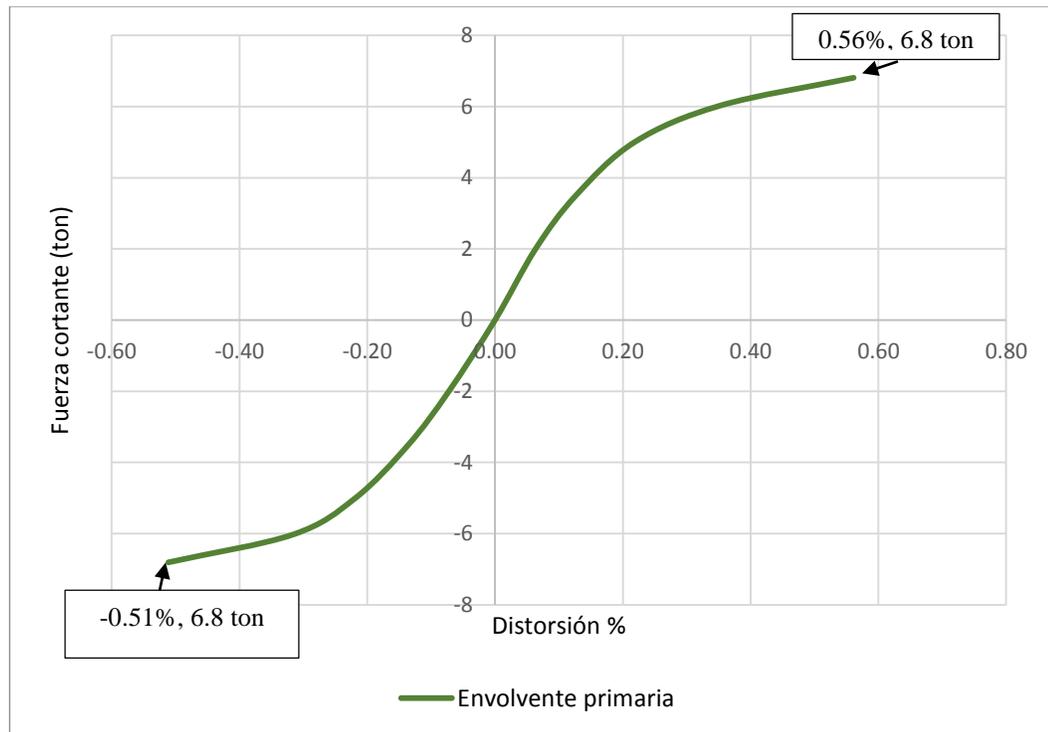


Gráfica 4.8: Curva de histéresis, pared BC-M03

4.4.4 Envolvente de respuesta

En la Gráfica 4.10 se presenta la envolvente de respuesta de la pared, donde se pueden observar las distorsiones máximas alcanzadas por el espécimen en los ciclos primarios, la cual para los semiciclos positivos fue de 0.56% bajo una carga de 6.8 ton y para los semiciclos negativos fue de -0.51% bajo una carga de 6.8

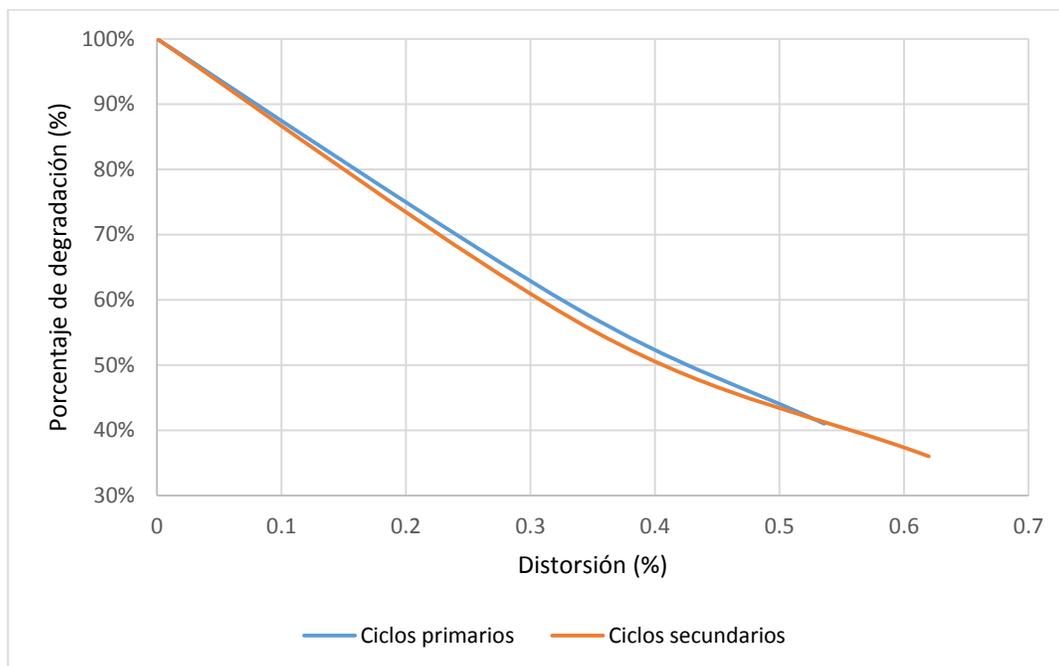
ton. Las distorsiones máximas alcanzadas por el espécimen ocurrieron en los ciclos de repetición de carga tal como se muestra en la Gráfica 4.9



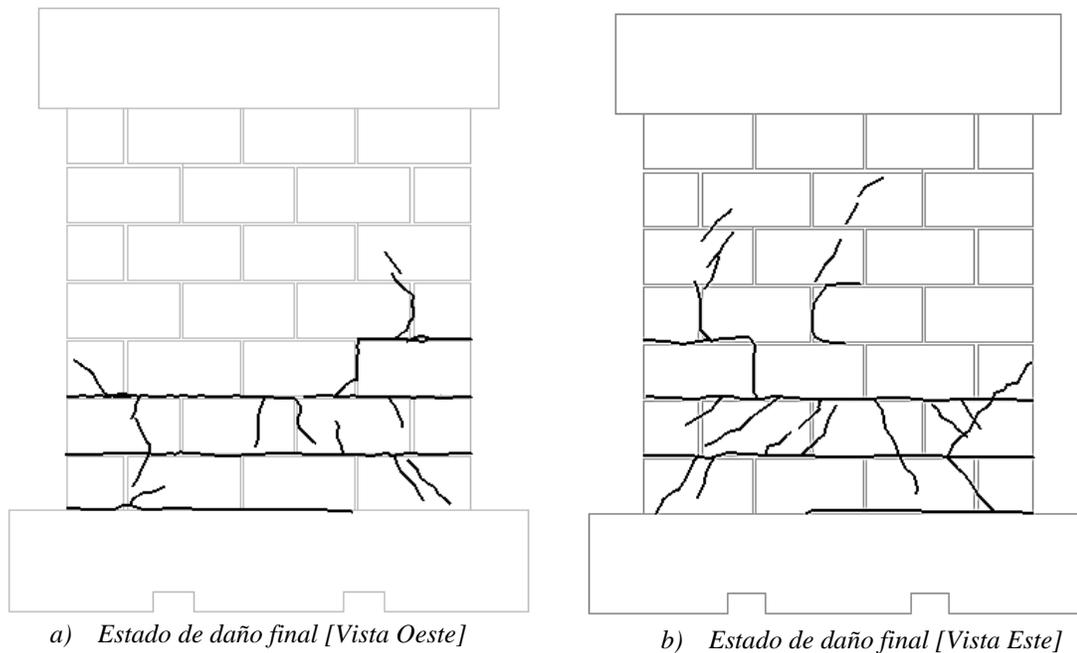
Gráfica 4.9: Envoltente de respuesta, pared BC-M03.

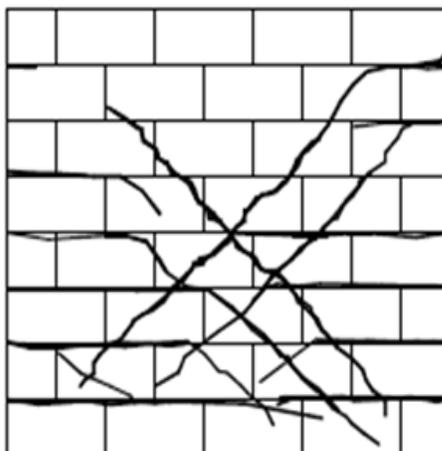
4.4.5 Degradación de rigidez

La rigidez inicial de la pared fue de 19.27 ton/cm, la curva de degradación de rigidez del espécimen puede observarse en la Gráfica 4.11, en la cual se aprecia que la rigidez se había reducido a un 36% de la rigidez original al final del ensayo. En la Figura 4.16 a y b, se muestra la apariencia de la pared al final de la prueba, y la apariencia propuesta en FEMA 306, para una rigidez remanente del 40% en la Figura 4.16 c. Como se puede apreciar las grietas por cortante no se han definido completamente, a pesar de la degradación de rigidez mostrada.



Gráfica 4.10: Degradación de rigidez, pared BC-M03.



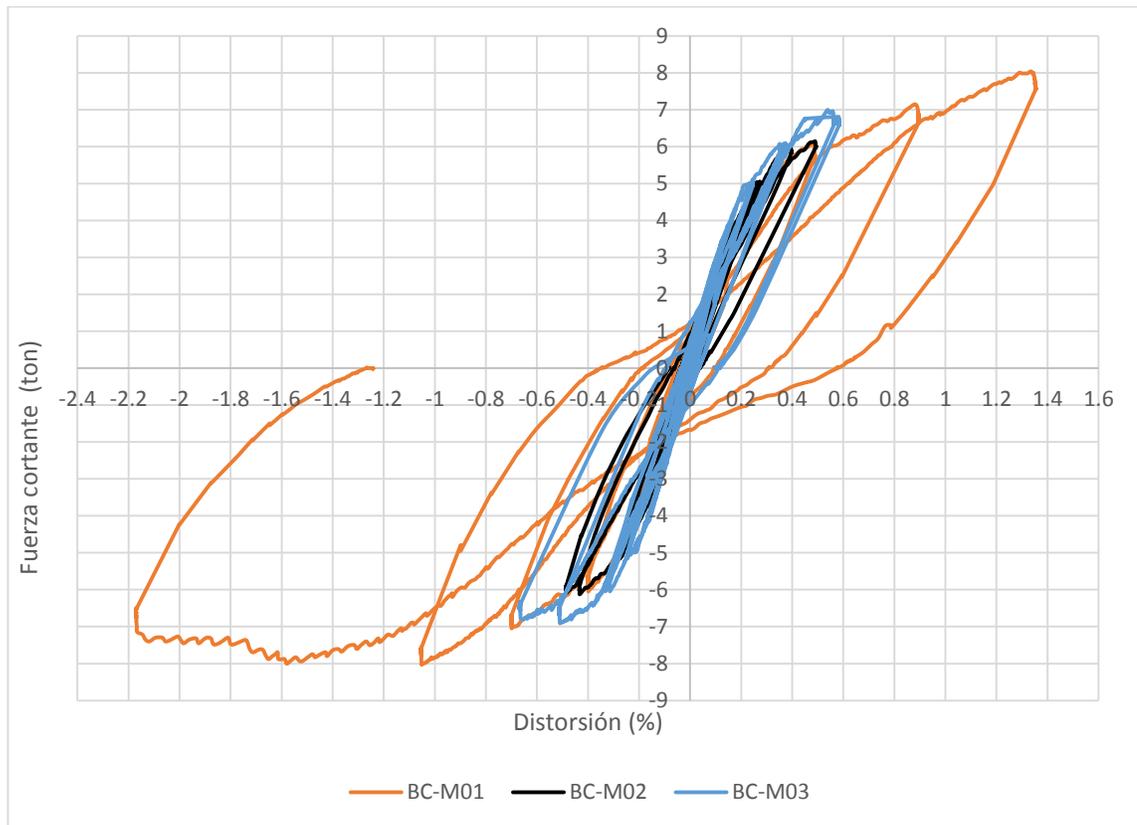


c) Estado de daño propuesto por FEMA 306

Figura 4.16: Daño moderado, rigidez degradada aproximadamente a un 40%.

4.5 Comparación del comportamiento histéretico de las paredes

En la Gráfica 4.12 se presenta la superposición del comportamiento histéretico de cada una de las paredes ensayadas, como se mencionó anteriormente la pared BC-M01 fue cargada hasta su falla, la distorsión máxima registrada al final del ensayo fue de -2.17%, los dos especímenes restantes se ensayaron hasta llevarlos a nivel de daño moderado, en el caso de la pared BC-M02 esto se logró al producir en esta una distorsión de 0.49% en los semiciclos positivos y de 0.48% en los semiciclos negativos, mientras que en la pared BC-M03 se logró al provocar una distorsión de 0.58% en los semiciclos positivos y 0.66% en los semiciclos negativos. Además, se puede observar que la pendiente inicial de los lazos de histéresis de la pared BC-M03 es ligeramente mayor a la del resto de especímenes, demostrando que su rigidez inicial fue mayor.

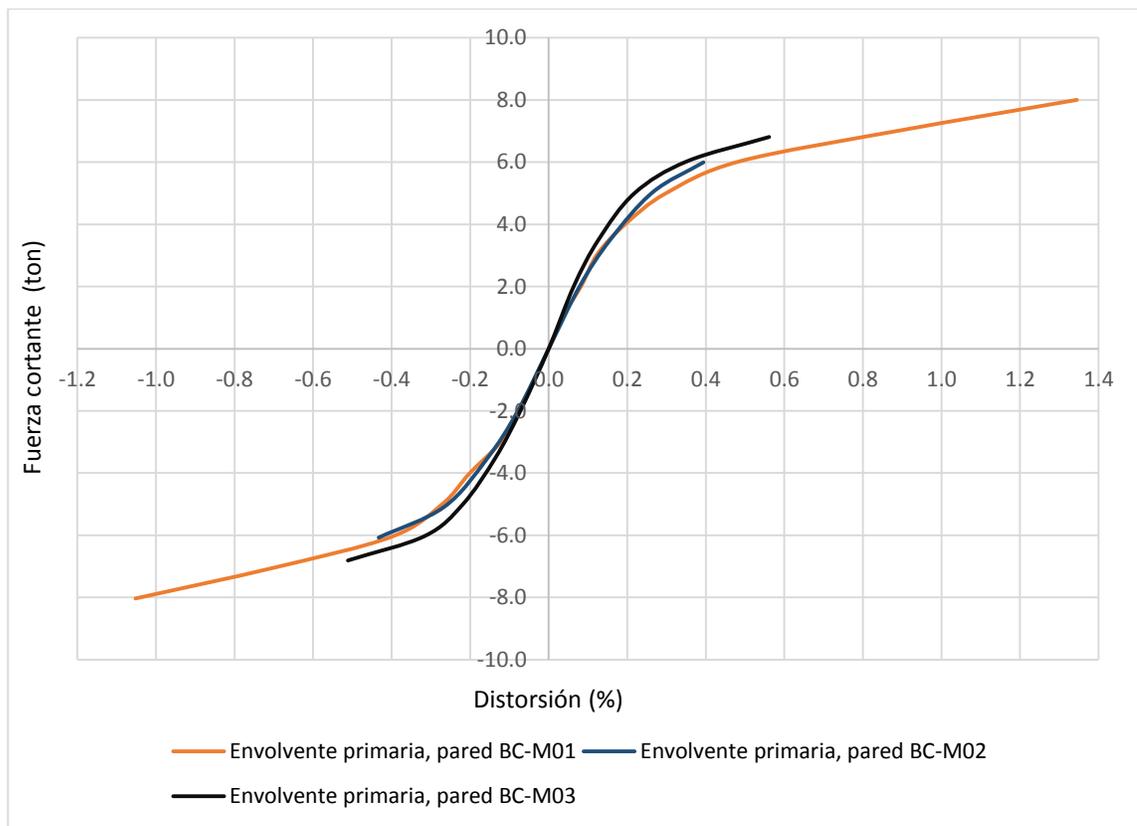


Gráfica 4.11: Comparación del comportamiento histérico de los especímenes.

4.6 Superposición de envolventes de respuesta

En la Gráfica 4.13 se presentan las envolventes de respuesta de cada una de las paredes ensayadas. La envolvente de la pared BC-M01 se encuentra trazada hasta el octavo ciclo en el que se aplicó una carga de 8 ton, se puede observar que en los semiciclos negativos la pared BC-M02 mantiene un comportamiento muy similar al del espécimen BC-M01, mientras que en los semiciclos positivos aproximadamente a partir de una distorsión de 0.2%, se aprecia un aumento en la pendiente de la envolvente de la pared BC-M02 con respecto a la envolvente del espécimen BC-M01. En cuanto a la pared BC-M03 se tiene que esta muestra

un comportamiento similar al del espécimen BC-M01 al inicio de la prueba, pero a partir de una distorsión de 0.07% para los semiciclos positivos y de 0.1% para los negativos, se presenta un cambio en su comportamiento demostrando mayor capacidad de respuesta que la de la pared BC-M01.



Gráfica 4.13: Superposición de envolventes de respuesta.

CAPITULO 5

INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL Y

ENSAYOS A PAREDES DE

MAMPOSTERIA REFORZADA

CAPITULO 5: INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL Y ENSAYOS A PAREDES DE MAMPOSTERIA REFORZADA.

En este capítulo se detallan los procesos realizados en la intervención estructural de paredes de mampostería reforzada, las cuales fueron previamente ensayadas y llevadas a un nivel de daño moderado. La pared BC-MO3 fue intervenida estructuralmente mediante la técnica del parcheo estructural y luego fue ensayada. Los detalles de la intervención y resultados del ensayo se presentan en este capítulo. Además, se presentan los resultados obtenidos de La pared BC-MO2, la cual fue intervenida estructuralmente mediante la técnica del encamisado con malla electro soldada.

5.1 Parcheo estructural aplicado a mampostería reforzada.

A continuación, se describen las etapas, procesos, materiales, herramientas y especificaciones utilizadas, para la intervención estructural de la pared BC-MO3, mediante la técnica del parcheo estructural. La pared fue sometida previamente a cargas laterales cíclicas con carga vertical constante y fue llevada a un nivel de daño moderado. Los detalles de las dimensiones e instrumentación externa se describieron en el capítulo 3, mientras que los resultados generales del ensayo fueron presentados en el capítulo 4.

5.1.1 Identificación de grietas.

Se identificaron las grietas resultantes del ensayo pseudoestático cíclico al que fue sometida la pared. Como se mencionó en el apartado 2.5.1.1, las grietas

residuales deben ser minuciosamente identificadas, con el fin de evitar que las poco visibles no sean tomadas en cuenta en la reparación, por lo tanto, las grietas fueron resaltadas con marcadores. Además, se marcaron 2 cm a cada lado de las grietas, definiendo así el ancho a picar (ver Figura 5.1)

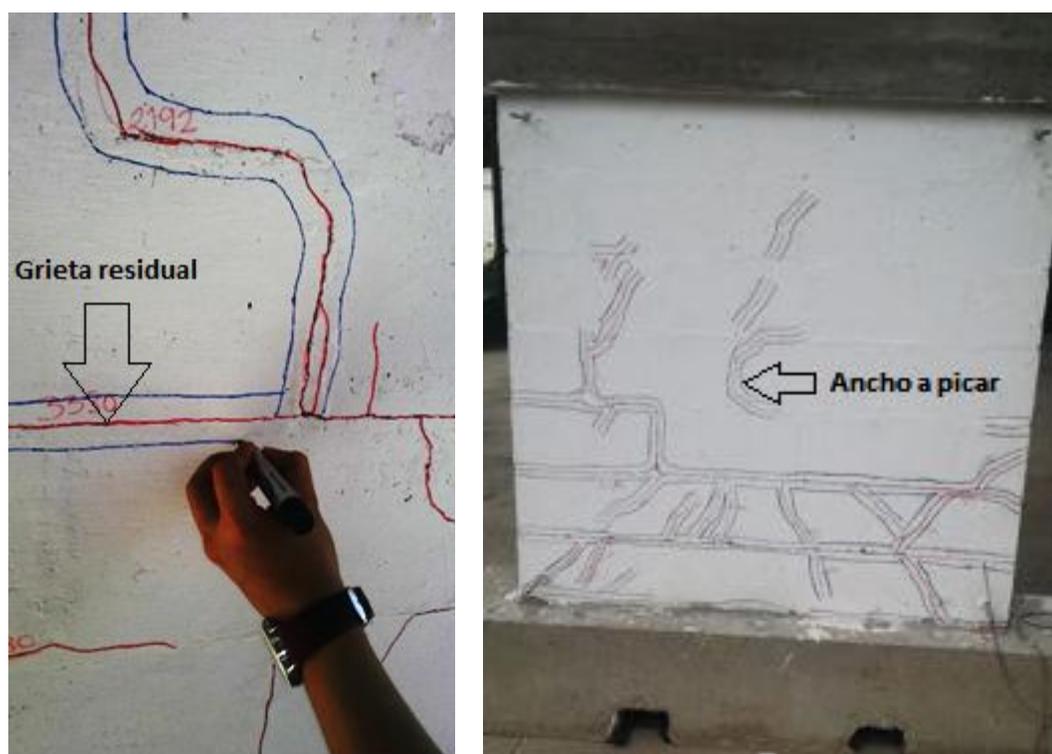


Figura 5.1: Identificación y marcado de grietas

5.1.2 Verificación de la verticalidad.

Se verificó la verticalidad de la pared haciendo uso de plomadas (Figura 5.2) colocadas en los extremos y en el centro de la pared. Cuando se presentaron pequeños desplomes, se procedió a desplazar a la pared hasta que estuviera a plomo. Para mantener la verticalidad durante el proceso de reparación, fue necesario apuntalar la pared tal como se muestra en la Figura 5.3. El

apuntalamiento en viviendas dañadas por sismos, se realiza para evitar posibles colapsos durante el proceso de intervención, sosteniéndolas y soportando parte de las cargas que llegan a la estructura. El apuntalamiento dependerá de las dimensiones, nivel de daño y las cargas que soporte la estructura. Los desplomes en edificaciones de mampostería deberán cumplir las tolerancias establecidas en el apartado 2.5.1.1, ya que desplomes mayores podrían ser un indicio de colapso, en estos casos se deberá analizar si la estructura requiere otro tipo de Intervención que no necesariamente sea una reparación.



Figura 5.2: Verificación de la verticalidad



Figura 5.3: Apuntalamiento con madera

5.1.3 Picado de grietas.

El ancho de grieta residual en las paredes luego de un sismo, resulta insuficiente para que el material de relleno pueda ser colocado y trabaje de manera efectiva, por lo que fue necesario ampliar las grietas y remover las partes dañadas, haciendo uso de herramientas como cincel y martillo. El picado se realizó en forma de “v”, con ángulos no mayores a 45° , como se aprecia en la Figura 5.4. La profundidad del picado fue igual al espesor del tabique tanto en unidades con celdas huecas, como en unidades con celdas llenas. Las grietas se picaron desde la parte inferior hasta llegar a las formadas en la parte superior, cuando las grietas se encontraban en las sisas, el picado se efectuó removiendo el ancho de la sisa y parte del bloque de concreto, tal como se muestra en la Figura 5.5. En las grietas encontradas entre la fundación y la pared fue necesario picar la fundación y la pared, siguiendo los lineamientos establecidos en el apartado 2.5.1.1.



Figura 5.4: Picado de grietas en forma de “v”



Figura 5.5: Picado de grietas en la sisa



Figura 5.6: Picado de grietas

5.1.4 Limpieza y humectación

Para dejar la superficie a intervenir completamente limpia, libre de polvo o material suelto, que pudiera afectar la adherencia entre la mampostería y el material de reparación, se hizo uso de un cepillo de alambre, tal como se muestra en la Figura 5.7. El polvo resultante del proceso anterior fue removido con una brocha, tal como se muestra en la Figura 5.8. Para garantizar una limpieza más profunda se lavó con agua la superficie a intervenir, eliminando las partículas que no pudieron ser removidas con la brocha (ver Figura 5.9).

La limpieza con agua es fundamental, ya que ayuda a saturar la superficie a intervenir, garantizando que el material de relleno no pierda humedad debido a la absorción de los bloques. Este procedimiento es de suma importancia ya que garantiza que el puente de adherencia sea aplicado sobre una superficie limpia y firme.



Figura 5.7: Limpieza con cepillo de alambre



Figura 5.8: Limpieza con brocha



Figura 5.9: lavado con agua y saturación se superficie a reparar

5.1.5 Preparación y colocación del puente de adherencia

Antes de preparar el puente de adherencia se revisaron tres medidas desde la cara exterior de la pared al cordel de una plomada (Figura 5.10), con el fin de verificar que la pared aún se encontrara a plomo. El puente de adherencia debe cumplir con los lineamientos expuestos en el apartado 2.5.1.1.



Figura 5.10: Verificación de la verticalidad antes de colocar el puente de adherencia

El puente utilizado constó de los componentes A y B, con dosificación en peso y volumen de 2A:1B. La forma de preparación, colocación y tiempo máximo de vida útil después de ser aplicado, fue consultada en la hoja técnica del producto mostrado en el anexo B-4.2. La cantidad de material a preparar depende del tiempo de aplicación y el área a reparar, el límite máximo de tiempo que el material mantendrá su funcionalidad es establecido en función de la temperatura ambiente, según lo especificado en su hoja técnica. La colocación del puente de

adherencia se realizó frotando fuertemente con una brocha, tal como se muestra en la Figura 5.11, evitando dejar superficies a reparar sin cubrir.



Figura 5.11: Colocación del puente de adherencia

5.1.6 Preparación y colocación del material de relleno

El material de relleno debe cumplir con los requisitos establecidos en el apartado 2.5.1.1. La hoja técnica del producto (Anexo B-4.1) establece que para 1 bolsa de 25 kg de mortero de reparación es necesario agregar 3.65 L de agua, hasta obtener una mezcla homogénea y si es necesario agregar más agua, no se deberá exceder la relación máxima de 3.9 L de agua por saco.

El material de relleno se puede mezclar con un taladro manual de bajas revoluciones, con un mezclador adecuado para morteros (<500 rpm), o manualmente, pero asegurándose que se consiga una mezcla uniforme. El mortero utilizado en la reparación se elaboró haciendo uso de una mezcladora

como se muestra en la Figura 5.12, la mezcla lograda fue homogénea con una consistencia pastosa y pegajosa.

El material de reparación fue aplicado en las zonas a reparar de abajo hacia arriba, se colocó con una espátula evitando dejar espacios vacíos que pudieran generar colmenas (ver Figura 5.13), además se evitó el abultamiento del material de reparación, aplanando y enrazando a nivel de la superficie de la pared.



Figura 5.12: Mezclado de forma mecánica.



Figura 5.13: colocación de material de relleno



Figura 5.14: Producto final de la colocación del material de reparación



5.1.7 Curado

Se realizó el proceso de curado durante 7 días, humedeciendo por aspersión la superficie reparada y áreas aledañas cada vez que se observaba una pérdida de humedad en las zonas intervenidas.

Luego se procedió a pintar la pared reparada, con el fin de poder observar con mayor facilidad la formación de grietas en su próximo ensayo. El resultado final de la reparación se puede observar en la Figura 5.15.



Figura 5.15: Pared reparada

MAMPOSTERÍA REFORZADA

5.2 Encamisado con malla electro soldada

En el presente apartado se describirán las etapas y procesos realizados en la intervención estructural de la pared BC-M02, mediante la técnica del encamisado con malla electro soldada.

La pared fue llevada a un nivel de daño moderado y los resultados generales del ensayo se presentaron en el capítulo 4.

5.2.1 Limpieza y reparación de grietas

Las primeras etapas fueron muy similares a las expuestas en el apartado 5.1. El primer paso fue identificar y marcar las grietas resultantes del ensayo. Luego se verificó que la pared se encontrara a plomo, apuntalándola con madera para garantizar su verticalidad durante la intervención, después se procedió al picado, limpieza y humectación de las áreas a intervenir. Previo a la colocación del material de relleno, se picó toda la superficie de la pared con ayuda de un cincel y martillo (ver Figura 5.16), para generar pequeñas irregularidades que proporcionaran una superficie más rugosa y de esta manera mejorar la adherencia entre la pared y la primera capa de mortero. Como material de relleno se utilizó un mortero tipo M, con una proporción por volumen de 1 parte de cemento portland, 2.25 de agregado fino y 0.25 de cal hidratada. El material de relleno fue mezclado de forma mecánica hasta obtener una mezcla homogénea y con una consistencia pastosa. La resistencia a compresión del material de relleno obtenida a los 28 días fue de 264 kg/cm².



Figura 5.16: Picado de grietas y formación de irregularidades en la superficie de la pared



Figura 5.17: Colocación de mortero de relleno

5.2.2 Colocación de anclajes

Posterior a la reparación de las grietas se cortó y colocó en la superficie de la pared una malla electro soldada con denominación 6 x 6 10/10. Esta malla tiene alambres calibre 10 (3.43 mm), separados 150 mm (6 pulgadas). La perforación de los agujeros donde serían colocados los anclajes fueron realizados con un taladro eléctrico y una broca para concreto de ¼ de pulgada (Figura 5.18). La separación de los agujeros fue de 40 cm, tanto horizontal como verticalmente, tal como se estableció en el apartado 2.5.2.

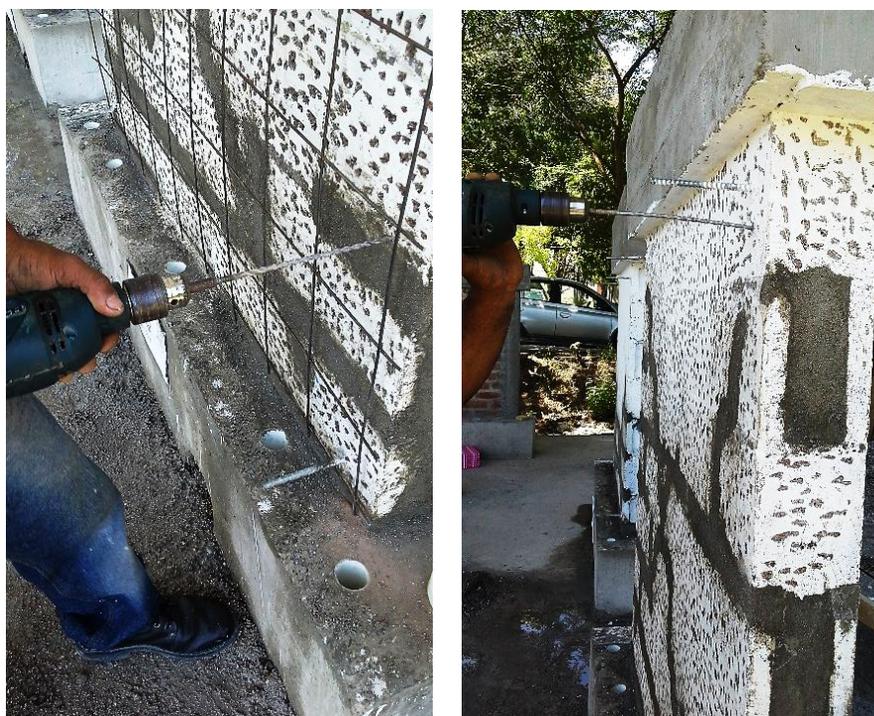


Figura 5.18: Perforación de agujeros para anclajes

Luego de perforados todos los agujeros, se procedió a la limpieza de los mismos. Esto se realizó soplando a través de pajillas tal como se muestra en la Figura 5.19. Después de asegurarse que los agujeros estuvieran limpios, libre de polvo y materiales sueltos, estos fueron rellenados con resina Epóxica con el fin de

MAMPOSTERIA REFORZADA

garantizar una mejor unión entre la pared y los anclajes, los cuales consistieron en varillas de acero N° 2 con una longitud de 35 cm, dejando 10 cm libres en cada rostro de la pared (Figura 5.20) para poder ser doblados y amarrados a la malla.



5.19: Limpieza de agujeros para anclajes



Figura 5.20: Colocación de anclajes

5.2.3 Colocación de malla electro soldada y recubrimiento de mortero.

Previo a la colocación de la primera capa de mortero de 0.5 cm de espesor, la pared fue completamente saturada. Se elaboró un mortero tipo M con una proporción por volumen de 1 parte de cemento portland, 2.25 de agregado fino y 0.25 de cal hidratada, el mezclado se realizó de forma manual hasta obtener una mezcla homogénea. La primera capa de mortero tiene como finalidad evitar que la malla quede en contacto directo con la mampostería. La resistencia promedio a compresión obtenida de ensayos de laboratorio fue de 254 kg/cm^2 .

Antes de colocar la malla electro soldada se colocaron Strain gauges en la misma, su ubicación y propósitos se describen en la sección 5.4.



Figura 5.21: Colocación de la primera capa de mortero



Figura 5.22: Colocación de malla electro soldada.

Después de instalada la malla se colocaron cañuelas a plomo en los extremos de la pared, con el fin de garantizar un espesor de mortero de 1.5 cm en toda la superficie, el mortero utilizado tuvo la misma dosificación que la primera capa de mortero y fue mezclado y colocado de manera manual.



Figura 5.23: Colocación de cañuelas en los extremos de la pared



Figura 5.24: Colocación de segunda capa de mortero

Para la colocación del mortero en los extremos de la pared, fue necesario colocar cañuelas sujetadas con los comúnmente llamados “sargentos”, que son varillas de acero dobladas de tal manera que puedan sostener las cañuelas contra la pared como se muestra en la Figura 5.25. Luego de colocar todo el mortero se procedió al curado por aspersión durante 7 días.

El resultado de la intervención puede apreciarse en la Figura 5.26. Finalmente se procedió a pintar la pared, como se puede observar en la Figura 2.27. La pintura utilizada consistió en una mezcla de cal y agua.



Figura 5.25: Colocación de sargentos para sostener las cañuelas.



Figura 5.26: Encamisado de pared con malla electro soldada



Figura 5.27: Producto final de la pared intervenida

5.3 Ensayo de la Pared BC-M03RP

La pared BC-M03, fue ensayada y llevada a un nivel de daño moderado, alcanzando distorsiones de 0.58% para semiciclos positivos y -0.66% para semiciclos negativos, tal como se presenta en el apartado 4.4, luego fue intervenida estructuralmente mediante la técnica del parcheo estructural, cuyos detalles son presentados en el apartado 5.1. La nomenclatura asignada luego de la intervención es BC-M03RP.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del ensayo pseudoestático ciclo con carga vertical constante al que se sometió a la pared

BC-M03RP. La instrumentación externa fue según lo descrito en el apartado 3.6.3.

5.3.1 Evolución del daño

La prueba se controló por carga en su totalidad, aplicando ciclos idénticos a los realizados en el ensayo de la pared BC-M03, con la diferencia que en esta ocasión la carga lateral fue aplicada hasta alcanzar la resistencia máxima del espécimen. La pared BC-M03R fue sometida a 11 ciclos de carga donde todos los ciclos fueron repetidos a excepción del último.

Antes de iniciar la prueba se identificó la formación de una grieta en la base de la pared (ver Figura 5.28), la cual se formó cuando la pared fue transportada con el montacargas al marco de carga.

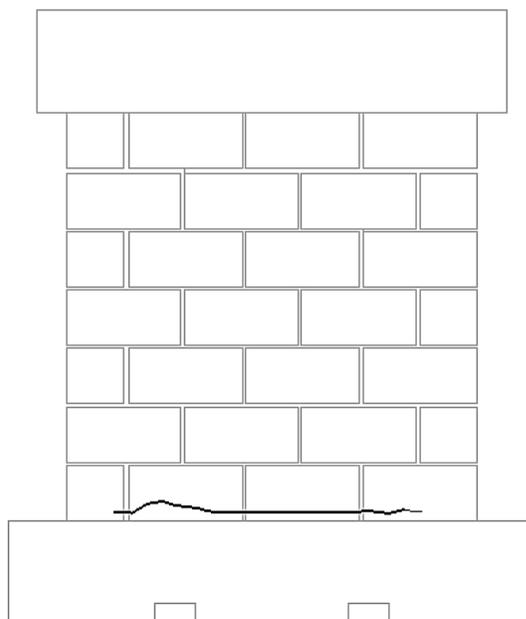


Figura 5.28: Inicio de la prueba - Grieta horizontal en la base de la pared.

MAMPOSTERIA REFORZADA

El ensayo transcurrió sin ningún evento importante durante los primeros 3 ciclos, al finalizar el semiciclo +4, donde la carga aplicada era de 3.5 ton, se observó la ampliación de la longitud de la grieta en la base de la pared, la cual no se había extendido hasta los extremos del espécimen. En el semiciclo -5 se observó la formación de dos grietas horizontales en el costado norte de la pared (ver Figura 5.29), donde la carga lateral aplicada era de -5 ton, la cual provocó una distorsión de -0.25%. Pequeñas grietas por cortante comenzaron a aparecer en el semiciclo -7, en el cual se llegó a una distorsión de -0.35%, producto de una carga lateral de -6 ton. Hasta el semiciclo +10 solo se observó un aumento de la cantidad de grietas por cortante, pero sin definirse completamente el puntal de compresión, dominando hasta este semiciclo las grietas por flexión (ver Figura 5.30), en el cual la carga aplicada era de 6.8 ton, produciendo una distorsión de 0.69%.

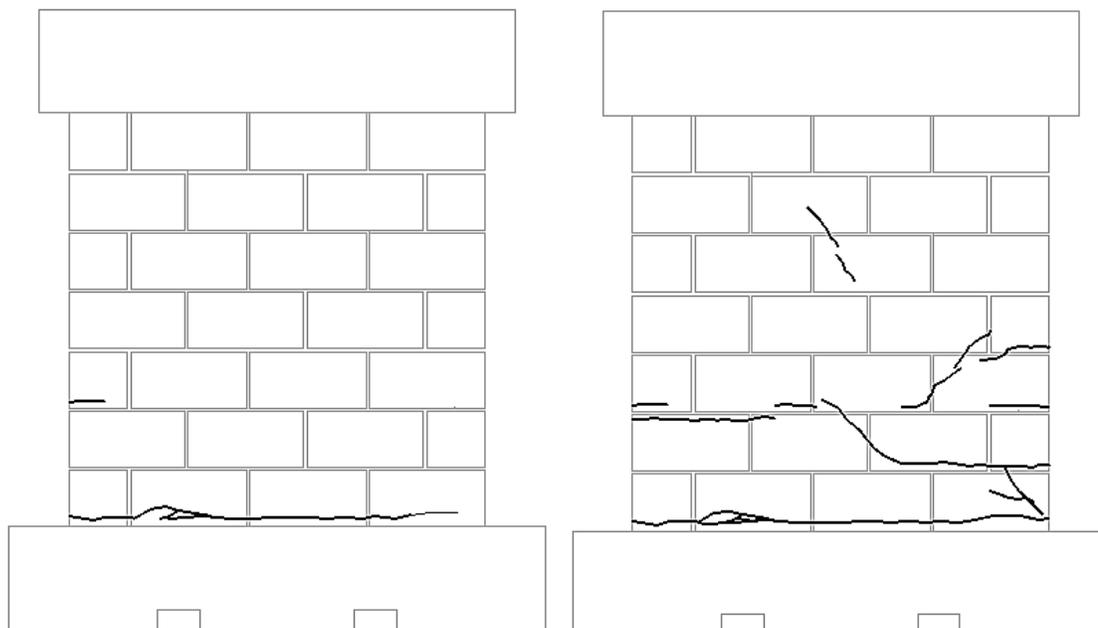


Figura 5.29: Patrón de grietas en el semiciclo -5 [Carga= -5 ton, Distorsión=-0.25%]

Figura 5.30: Patrón de grietas en el semiciclo +10 [Carga= 6.8 ton, Distorsión=0.69%]

5.3.2 Estado final del daño

El puntal de compresión se marcó en el semiciclo -11, generando una falla por tensión diagonal, la grieta resultante atravesó las unidades de mampostería y generó aplastamiento en la esquina inferior sur. En este semiciclo se tenía previsto aplicar una carga de 8 ton, pero la resistencia máxima alcanzada por la pared fue de 7.9 ton. El ensayo finalizó con la ejecución del semiciclo +11, en el cual se generó una grieta por cortante en dirección opuesta a la primera y provocó aplastamiento en la esquina inferior norte de la pared. El ancho máximo de grieta residual fue de 3 mm. El estado final de daño se presenta en la Figura 5.31.



Figura 5.31: Estado final del daño, pared BC-M03RP [Izquierda: Vista Oeste; Derecha: Vista Este].
En Figura 5.31 se puede apreciar que muchas de las grietas por flexión ocurrieron en zonas cercanas a las intervenidas mediante la técnica del parcheo estructural.

Con el fin de comprender el comportamiento de la mampostería reparada, se realizaron remociones y cortes de algunos de los sectores dañados (ver Figura 5.32-a). Se puede observar que la reparación se encuentra intacta y el puente de adherencia con el material de relleno, se encuentra bien adherido al bloque de concreto, lo cual indica que las fallas se produjeron en las unidades de mampostería, (Figura 5.32-b). Este tipo de falla fue la más común que se encontró en las remociones y cortes realizados.

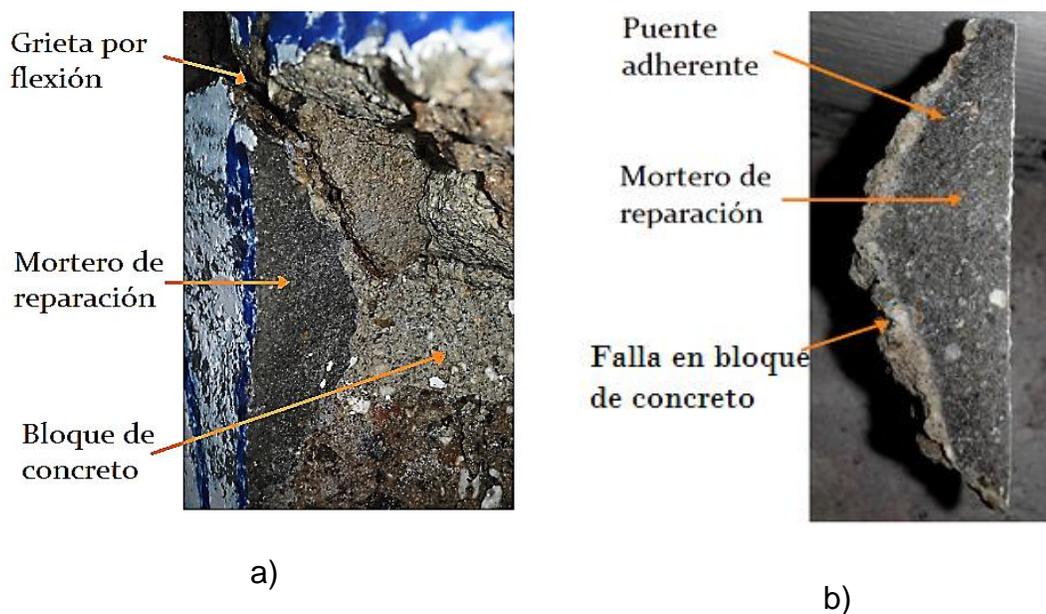


Figura 5.32: a) Vista transversal de grieta por flexión; b) Falla típica.

En algunos sectores se identificó fallas por cortante que atravesaron el mortero de reparación. En la Figura 5.33 se aprecia el desprendimiento de una porción del material de relleno, provocado por la combinación de grietas de flexión y cortante. Se observa que no existen restos del puente adherente o del mortero de reparación en el bloque de concreto, por lo que la falla también se presentó en la unidad de mampostería.

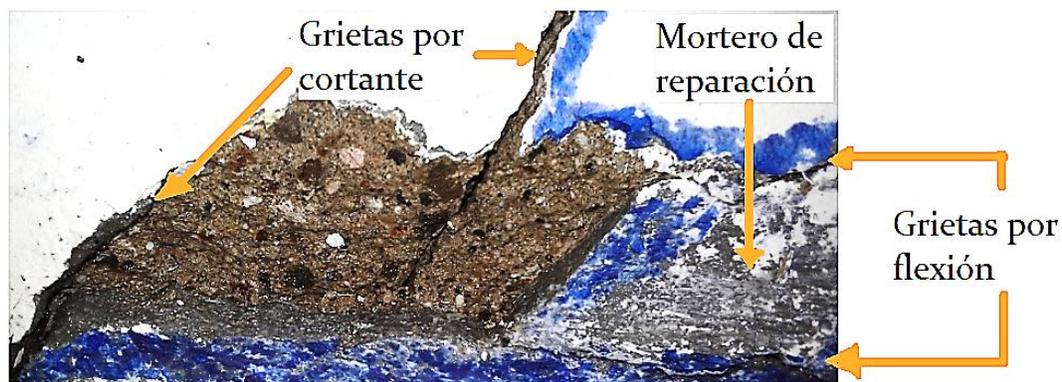


Figura 5.33: Falla por combinación de grietas por cortante y flexión

En la Figura 5.34 se observa el desprendimiento de una parte de la unidad de mampostería en la esquina inferior sur de la pared. La falla se presentó por la combinación de grietas por cortante y flexión. La grieta por cortante se generó en las unidades de mampostería, prolongándose hasta la esquina inferior sur, atravesando el material reparación.

Al observar las superficies de las fallas producidas por esfuerzos cortantes y flexionantes, no existen restos del puente adherente o material de reparación, identificando claramente que la falla se produjo en el bloque de concreto.

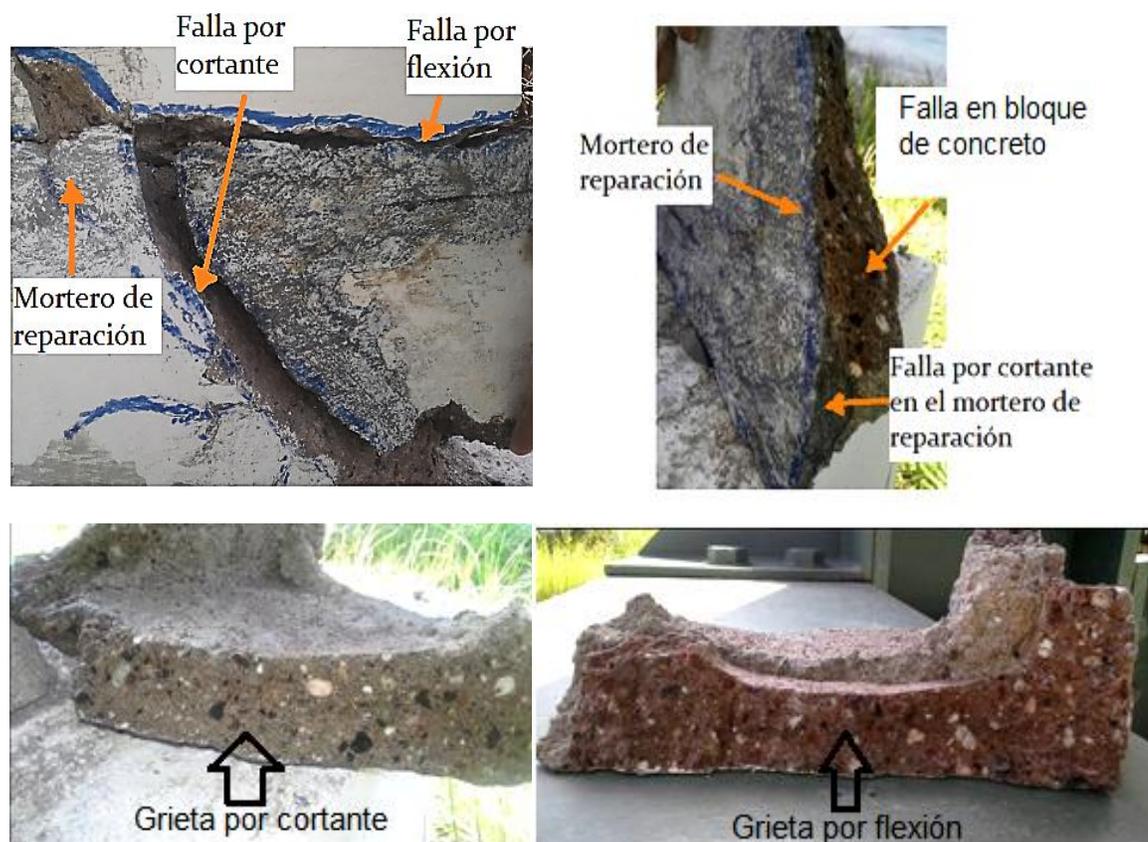
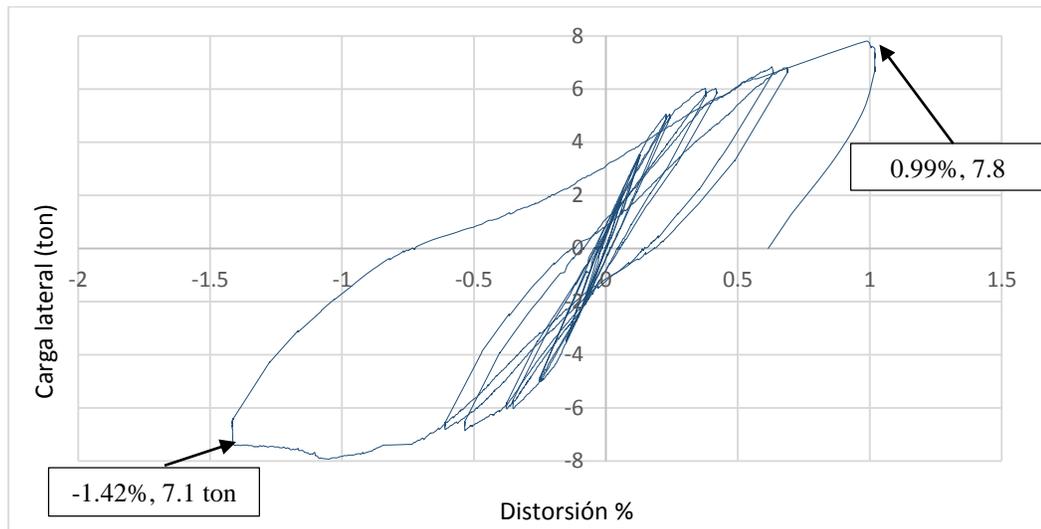


Figura 5.34: Falla en la unidad de mampostería producto de la combinación de grietas por cortante y flexión

5.3.3 Comportamiento histéretico

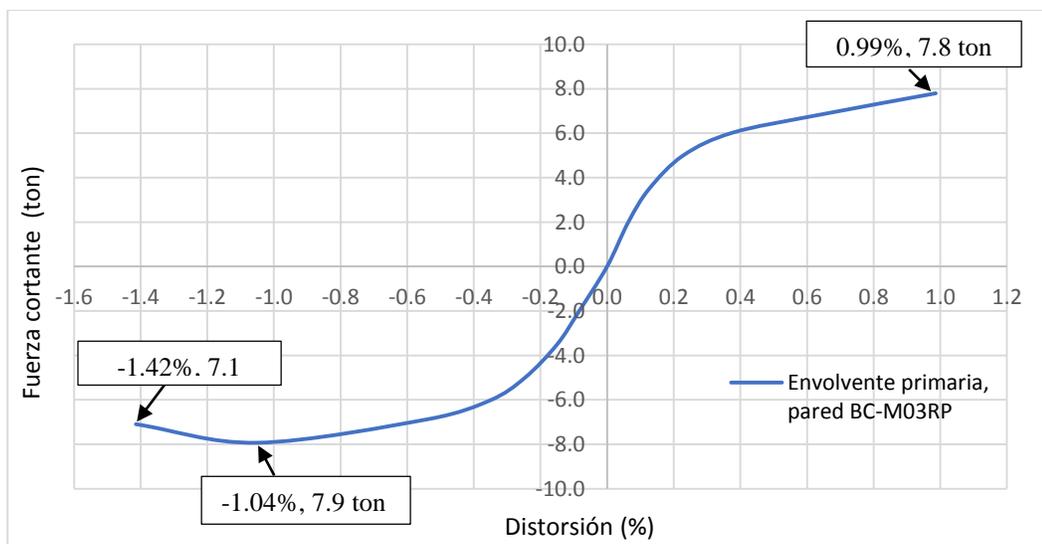
El comportamiento histéretico del espécimen se presenta en la Gráfica 5.1. Se puede observar que la máxima distorsión alcanzada fue de 0.99% para los semiciclos positivos, y de 1.42% para los semiciclos negativos. La pendiente de los lazos de histéresis se mantuvo muy similar en los primeros 6 ciclos de carga, decayendo en los ciclos posteriores. Además, se observa que a partir del séptimo ciclo, aumenta el área que encierran los lazos de histéresis, debido a que el daño en el espécimen comenzó a ser más significativo.



Gráfica 5.1: Curva histerética, pared BC-M03RP

5.3.4 Envoltente de respuesta.

En la Gráfica 5.2 se presenta la envoltente primaria de la pared reparada, se pueden observar la resistencia máxima que alcanzó la pared en los semiciclos positivos fue de 7.8 ton, mientras que en los semiciclos negativos fue de 7.9 ton.

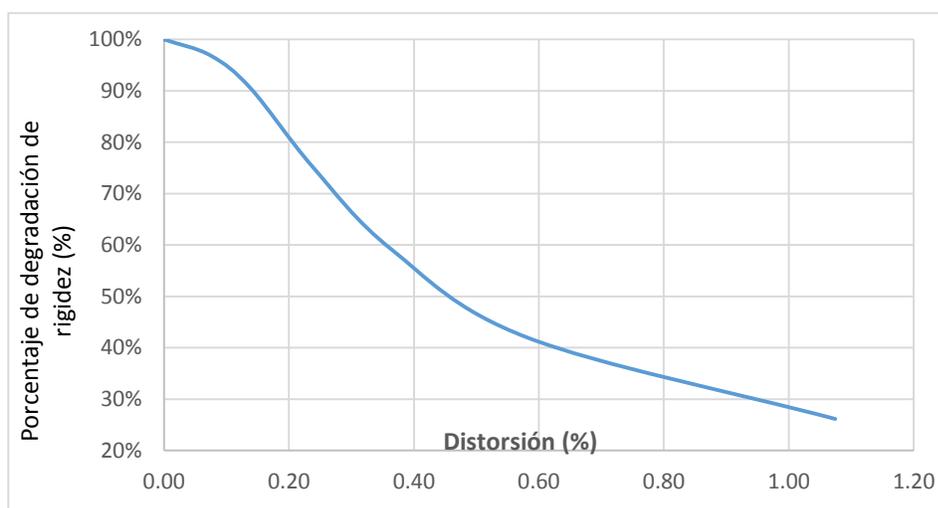


Gráfica 5.2: Envoltente de respuesta, pared BC-M03RP.

5.3.5 Degradación de rigidez

La rigidez inicial fue de 17.22 ton/cm, en la Gráfica 5.3 se presenta la forma en que esta propiedad se degradó a lo largo del ensayo. En los primeros cuatro ciclos la tasa de degradación fue mínima, aumentando en los ciclos posteriores.

La rigidez al final de la prueba se redujo a un 26% de su valor inicial.



Gráfica 5.3: Degradación de rigidez, pared BC-M03RP

5.4 Ensayo de la Pared BC-M02RF

La pared BC-M02, fue ensayada y llevada a un nivel de daño moderado, alcanzando distorsiones de 0.49% para semiciclos positivos y -0.48% para semiciclos negativos, tal como se presenta en el apartado 4.3, luego fue intervenida estructuralmente mediante la técnica del encamisado con malla electro soldada, cuyos detalles son presentados en el apartado 5.2. La nomenclatura asignada luego de la intervención es BC-M02RF. A continuación, se presentan los resultados obtenidos del ensayo pseudoestático cíclico con

MAMPOSTERIA REFORZADA

carga vertical constante al que se sometió a la pared BC-M02RF. La instrumentación externa fue según lo descrito en el apartado 3.6.3.

5.4.1 Resistencia a cortante de la malla electro soldada

La resistencia a cortante de la malla electro soldada (V_{sm}) se calculó según lo descrito en el apartado 2.5.2.1, en el cual se establece que:

$$V_{sm} = \rho_h f_y A_T \eta_h \quad [EC-2.5]$$

Dónde:

ρ_h : Cuantía del refuerzo horizontal.

f_y : Resistencia nominal de fluencia de los alambres de la malla (5000 Kg/cm²).

A_T : Área efectiva de la sección transversal de la pared.

η_h : Factor de eficiencia de los alambres horizontales.

Datos:

Calibre	10/10
Separación de alambres verticales (S_v)	6" (15 cm)
Separación de alambres horizontales (S_h)	6" (15 cm)
Diámetro del alambre	3.43 mm
Área del alambre (A_s)	0.092 cm ²
Grado	70 (4900 kg/cm ²)
Especificación:	ASTM A-185

Tabla 5.1: Características de la malla electro soldada.

Base	140 cm
Altura	140 cm
Espesor (t)	15 cm

Tabla 5.2: Dimensiones de la pared.

Cálculo:

- Cuantía del refuerzo horizontal:

$$\rho_h = \frac{0.092 \times 2}{15 \times 14} = 0.00088$$

- Área efectiva de la sección transversal de la pared:

$$A_T = b_w d \quad \text{[EC-3.18]}$$

Dónde:

b_w : Es el espesor efectivo de la pared (11.5 para celdas llenas @ 40 cm)

d : Es el peralte efectivo igual a $0.8L_w$

$$A_T = 11.5 (0.8 \times 140) = 1288 \text{ cm}^2$$

- Factor de eficiencia de los alambres horizontales:

$$\rho_h f_y = (0.00044)(4900) = 2.15 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Según la NTCM:

$$\text{Si } \rho_h f_y < 6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}; \quad \eta_h = 0.6$$

Utilizando la ecuación 2.5.4:

$$V_{sm} = (0.00088)(5000)(1288)(0.6) = 3400.32 \text{ kg} = 3.40 \text{ ton}$$

La resistencia a cortante de la malla es de 3.40 ton.

5.4.2 Medición de deformaciones

La instrumentación externa se colocó de acuerdo a lo descrito en el capítulo 3, mientras que la instrumentación para medir las deformaciones en la malla electro soldada se presenta a continuación:

- **Instrumentación interna**

Durante la intervención de la pared BC-M02, se colocaron Strain Gauges en zonas estratégicas, con el fin de controlar deformaciones locales durante el ensayo. El tipo de Strain Gauge utilizado fue el FLA-10-23-5L con 120Ω y 10mm de longitud, la cantidad, ubicación y propósito de estos se presentan en las Figuras 5.35, 5.36 y en las Tablas 5.3, 5.4.

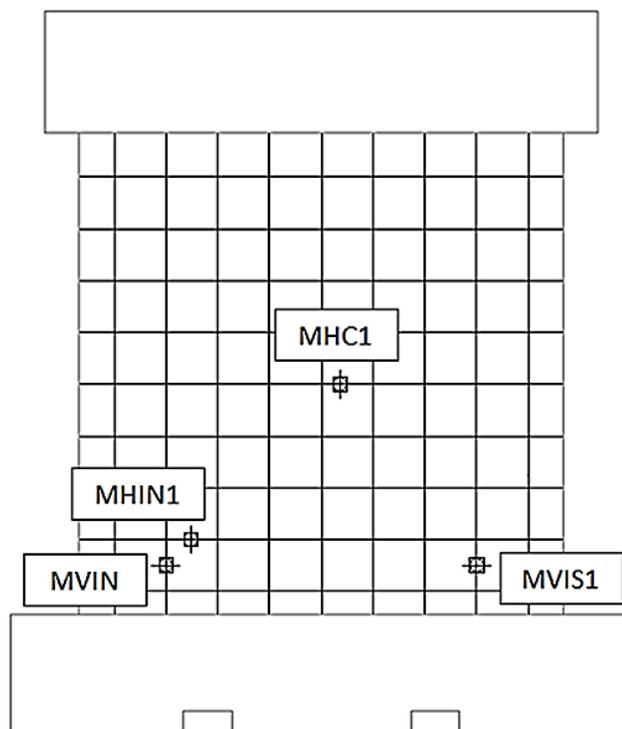


Figura 5.35: Localización de Strain gauges [Vista Oeste].

Identificación	Serie	Localización	Propósito
MVIN	FLA-10-23-5L	Esquina inferior norte	Medir deformaciones del alambre vertical
MHIN1	FLA-10-23-5L	Esquina inferior norte	Medir deformaciones del alambre horizontal
MHC1	FLA-10-23-5L	Zona central	Medir deformaciones del alambre horizontal
MVIS1	FLA-10-23-5L	Esquina inferior sur	Medir deformaciones del alambre vertical

Tabla 5.3: Strain gauge utilizados en malla electro soldada [vista Oeste].

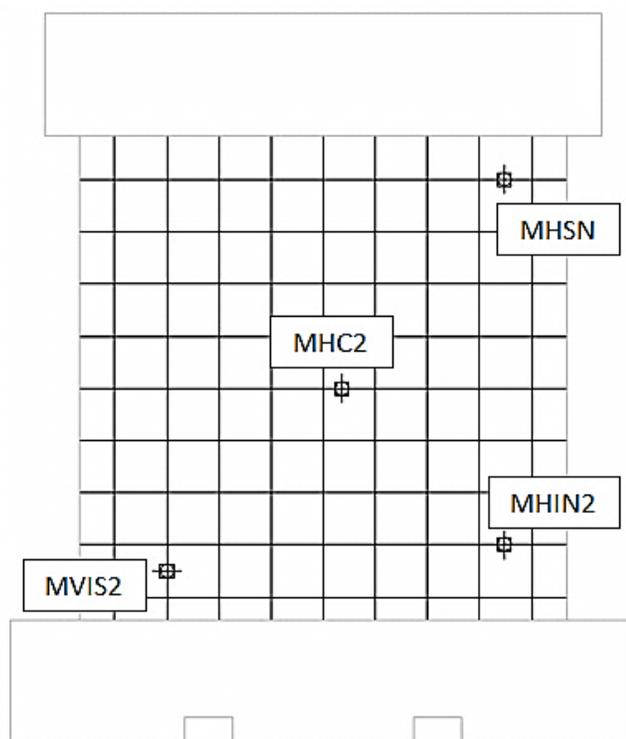


Figura 5.36: Localización de Strain gauges [Vista Este].

Identificación	Serie	Localización	Propósito
MVIS2	FLA-10-23-5L	Esquina inferior sur	Medir deformaciones del alambre vertical
MHC2	FLA-10-23-5L	Zona central	Medir deformaciones del alambre horizontal
MHSN	FLA-10-23-5L	Esquina Superior norte	Medir deformaciones del alambre horizontal
MHIN2	FLA-10-23-5L	Esquina inferior norte	Medir deformaciones del alambre horizontal

Tabla 5.4: Strain gauge utilizados en malla electro soldada [vista Este].

5.4.3 Evolución del daño

Los primeros ciclos fueron idénticos a los realizados en el ensayo de la pare BC-M02. La prueba fue controlada por carga en su totalidad y todos los ciclos fueron repetidos.

El primer cambio detectado ocurrió en el semiciclo +5, en el cual se formó una grieta en la cara oeste y costado sur de la pared (ver Figura 5.37), en este semiciclo se registró una distorsión de 0.21%, producto una carga lateral de 5 ton. En el semiciclo +6 se observó que la grieta se reflejó en la cara este al aplicar una carga lateral de 5 ton, provocando una distorsión de 0.22%. En el semiciclo -6, se formó una grieta en el costado norte de la pared (ver Figura 5.38), producto de una distorsión de -0.22%. En el semiciclo +7 Ambas grietas se unieron, mientras se aplicaba una carga de 6 ton, alcanzando una distorsión de 0.30% (ver Figura 5.39).

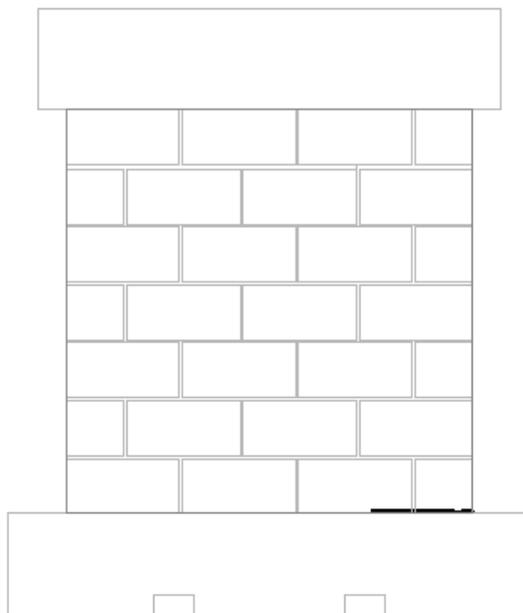


Figura 5.37: Patrón de grietas en el semiciclo +5 [Carga= 5 ton, Distorsión=0.21%].

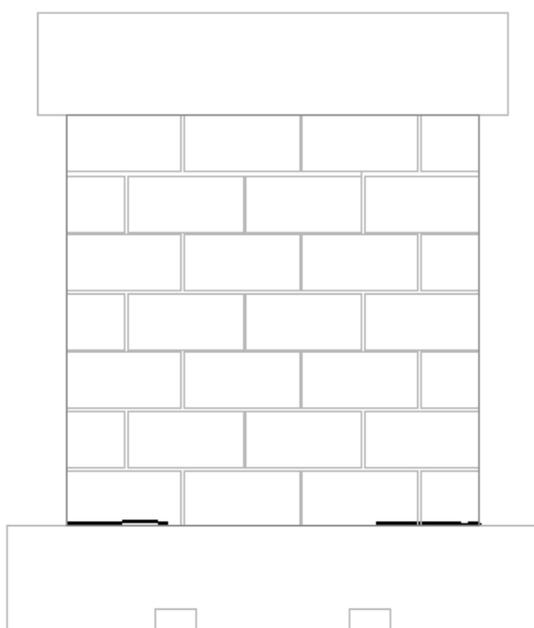


Figura 5.38: Patrón de grietas en el semiciclo -6 [Carga= -5 ton, Distorsión=-0.22%]

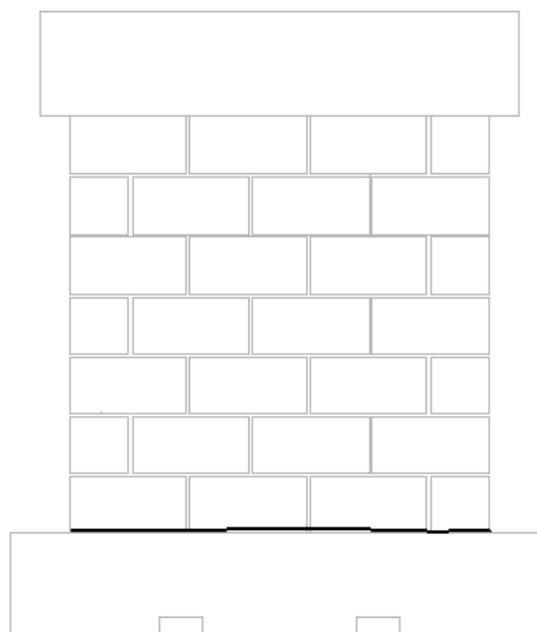


Figura 5.39: Patrón de grietas en el semiciclo +7 [Carga= 6 ton, Distorsión=0.30%]

MAMPOSTERIA REFORZADA

En los siguientes 7 semiciclos únicamente se observó el aumento de la abertura de la grieta en la base de la pared. A partir del semiciclo +11 en el cual se aplicaba una carga lateral de 8 ton, se descubrió que la presión que el gato vertical ejercía a la pared aumentaba de 3.6 kg/cm^2 a 6.5 kg/cm^2 , cuando se aplicaba la carga máxima de cada semiciclo. En semiciclo +12 se identificó la formación de grietas por aplastamiento en la esquina inferior norte del espécimen, producto de una carga lateral de 8 ton, provocando una distorsión de 0.98%.

5.4.4 Estado final del daño

Se decidió finalizar la prueba en el semiciclo -14, sin alcanzar la resistencia máxima del espécimen, debido a que en este punto la pared y la fundación garantizaban su conexión únicamente a través del acero de refuerzo vertical, poniendo en riesgo la instrumentación y el mecanismo de carga. Para comprender el comportamiento de la pared intervenida se decidió retirar la capa de mortero que cubría a la mampostería (ver Figura 5.40). Dentro de los daños observados se tiene la formación de una pequeña grieta por cortante, paralela a uno de los sectores que fue reparado durante el proceso de intervención (ver Figura 5.41), así mismo se identificó una grieta por flexión en la segunda hilada de la pared la cual atravesó un tramo que se había sustituido con mortero durante la intervención (ver Figura 5.42).



Figura 5.40: Estado de daño final, pared BC-M02RF [Vista Este].



Figura 5.41: Pequeña grieta por cortante.



Figura 5.42: Formación de grieta por flexión.

Se presentaron daños en la esquina inferior norte del espécimen, debido a los esfuerzos de flexo-compresión que afectaron a esta zona (ver Figura 5.43).



Figura 5.43: Daños en la esquina inferior norte de la pared.

La mayor parte de los sectores reparados no sufrieron daños significativos, se observó que en estas zonas el mortero de relleno aún se encontraba unido al bloque de concreto (ver Figura 5.44).

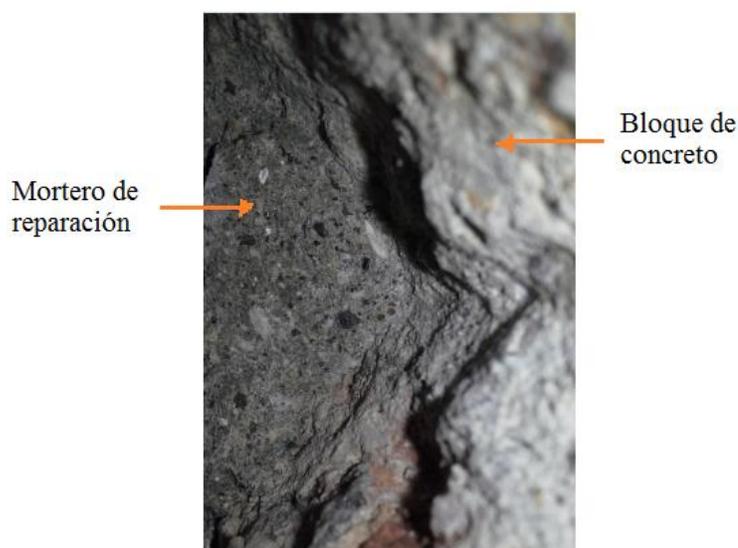
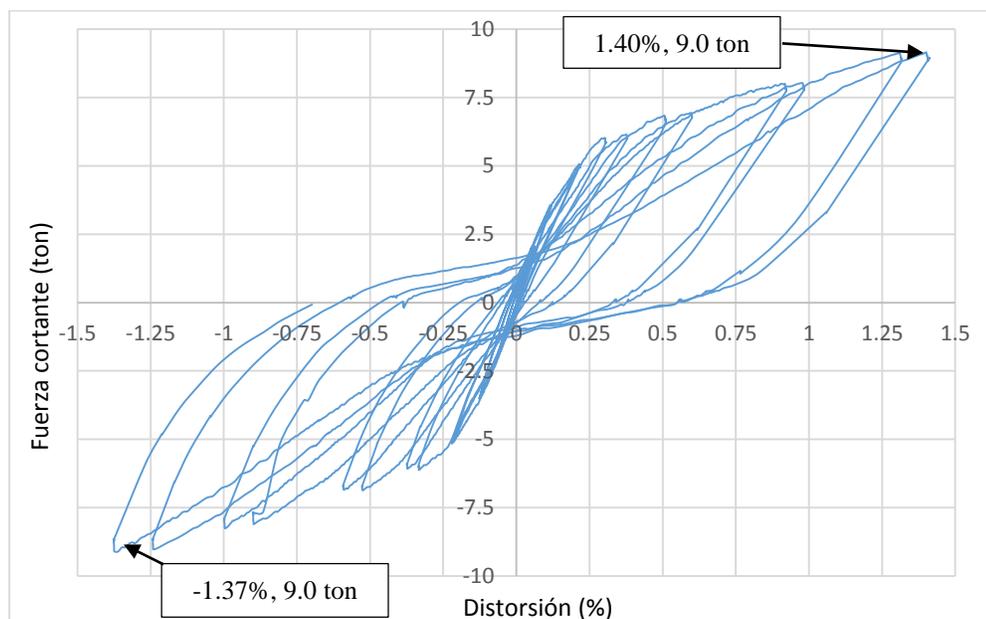


Figura 5.44: Unión entre el mortero de relleno y el bloque de concreto.

5.4.5 Comportamiento histérico

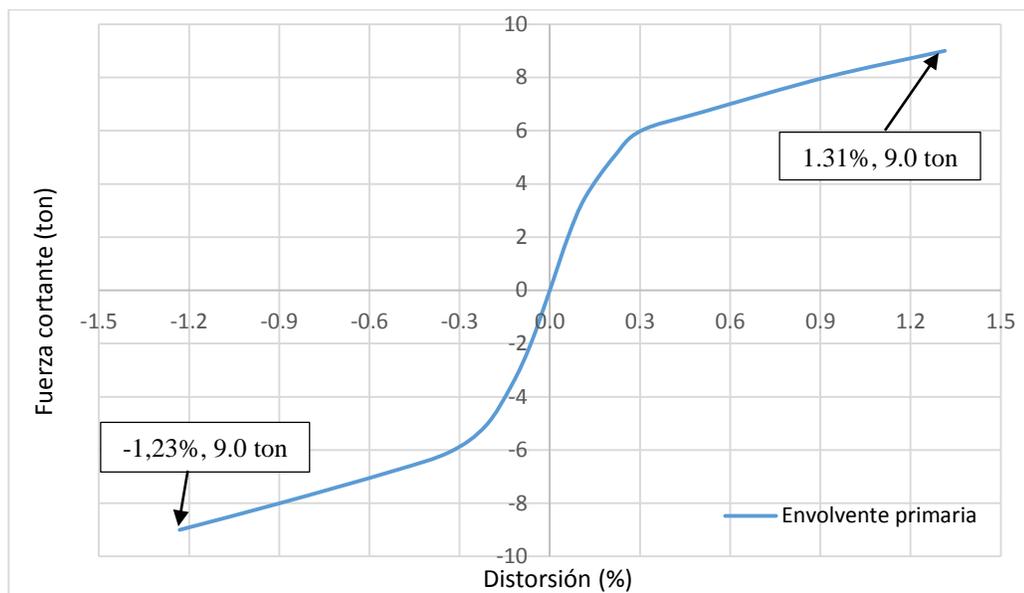
En la Gráfica 5.4 se presenta la curva histerética, en la cual se puede apreciar que las distorsiones máximas alcanzadas por la pared, fueron de -1.37% para los semiciclos negativos y 1.40% para los semiciclos positivos. Se observa que la pendiente de los lazos permanece constante durante los primeros 5 ciclos. En los siguientes ciclos se presenta un aumento en el área que encierran las curvas, debido a la creciente disipación de energía mediante deformaciones inelásticas.



Gráfica 5.4: Curva histerética, pared BC-M02RF.

5.4.6 Envoltente de respuesta

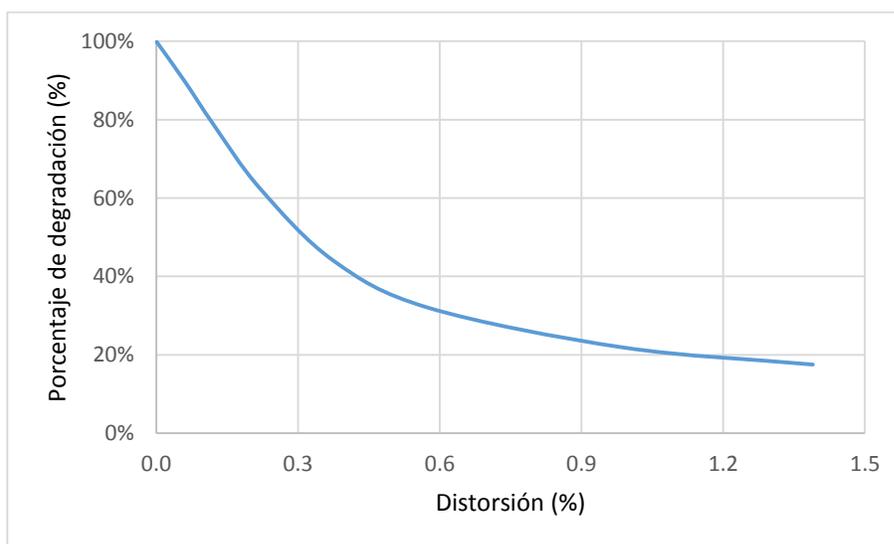
En la Gráfica 5.5 se puede observar la envoltente primaria de la pared BC-M02RF, se observa que en ambos semiciclos la carga máxima aplicada al espécimen fue de 9.0 ton, alcanzando una distorsión de 1.31% en los semiciclos positivos y -1.23% en los semiciclos negativos.



Gráfica 5.5: Curva envolvente, pared BC-M02RF.

5.4.7 Degradación de rigidez

La rigidez inicial de la pared fue de 18.17 ton/cm. En el Gráfica 5.6 se puede apreciar la curva de degradación de rigidez del espécimen, se observa que la rigidez al final del ensayo se redujo a un 18% de su valor inicial.



Gráfica 5.6: Degradación de rigidez.

5.4.8 Comportamiento de la malla electro soldada

Al inicio de la prueba se detectó que el Strain Gauge identificado como MVIS2, ubicado en la cara este y esquina inferior sur, no presentaba lecturas, por lo tanto, no se pudieron obtener datos de esta zona. En las Tablas 5.5 y 5.6 se presentan los esfuerzos máximos de compresión y tensión, alcanzados por los alambres de la malla electro soldada, estos esfuerzos (σ) se calcularon aplicando la ley de Hook. Tomando en cuenta que ningún alambre superó la deformación de fluencia aún es válida la siguiente expresión:

$$\sigma = E \times \epsilon \quad [\text{Ec-5.1}]$$

Dónde:

E : Módulo de elasticidad del alambre (2, 100,000 kg/cm²)

ϵ : Deformación unitaria (mm/mm).

Los máximos esfuerzos registrados se presentaron cuando el acero se encontraba a compresión. El Strain Gauge identificado como MVIS1, ubicado en la esquina inferior sur del espécimen, indicó las mayores lecturas tanto en los periodos de tensión como en los de compresión. En la Figura 5.45 y 5.46 se muestra la distribución de los Strain Gauges en la malla electro soldada, con una escala de colores que representa la distribución de los máximos esfuerzos de tensión y compresión registrados en las diferentes zonas de la malla.

MAMPOSTERÍA REFORZADA

Se puede observar que la máxima concentración de esfuerzos de tensión se presentó en los alambres verticales de los extremos inferiores de la malla. Mientras que los máximos esfuerzos de compresión se presentaron tanto en los alambres verticales de los extremos inferiores, como en los alambres horizontales en el centro de la malla.

Identificación	Deformación unitaria máxima ($\times 10^{-6}$)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
MVIN	218	457.8
MHIN1	-	-
MHC1	28	58.8
MVIS1	583	1224.3
MHC2	14	29.4
MHSN	93	195
MHIN2	112	235

Tabla 5.5: Esfuerzos de tensión máximos en los alambres de la malla electro soldada.

Identificación	Deformación unitaria máxima ($\times 10^{-6}$)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
MVIN	-425	-892.5
MHIN1	-496	-1041.6
MHC1	-533	-1119.3
MVIS1	-1154	-2423.4
MHC2	-294	-617.4
MHSN	-28	-58.8
MHIN2	-378	-793.8

Tabla 5.6: Esfuerzos de compresión máximos en los alambres de la malla electro soldada.

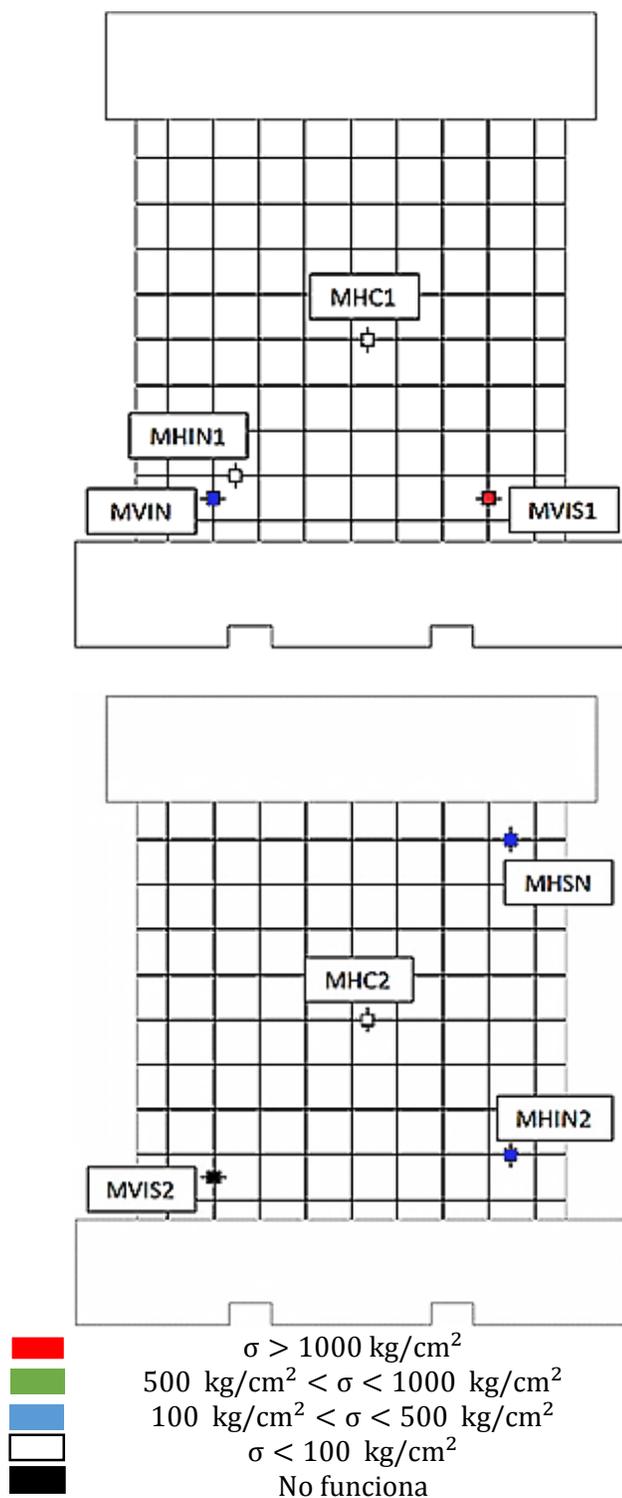


Figura 5.45: Resistencia de los alambres de la malla - esfuerzos de tensión. [Superior: Vista Oeste; Inferior: Vista Este].

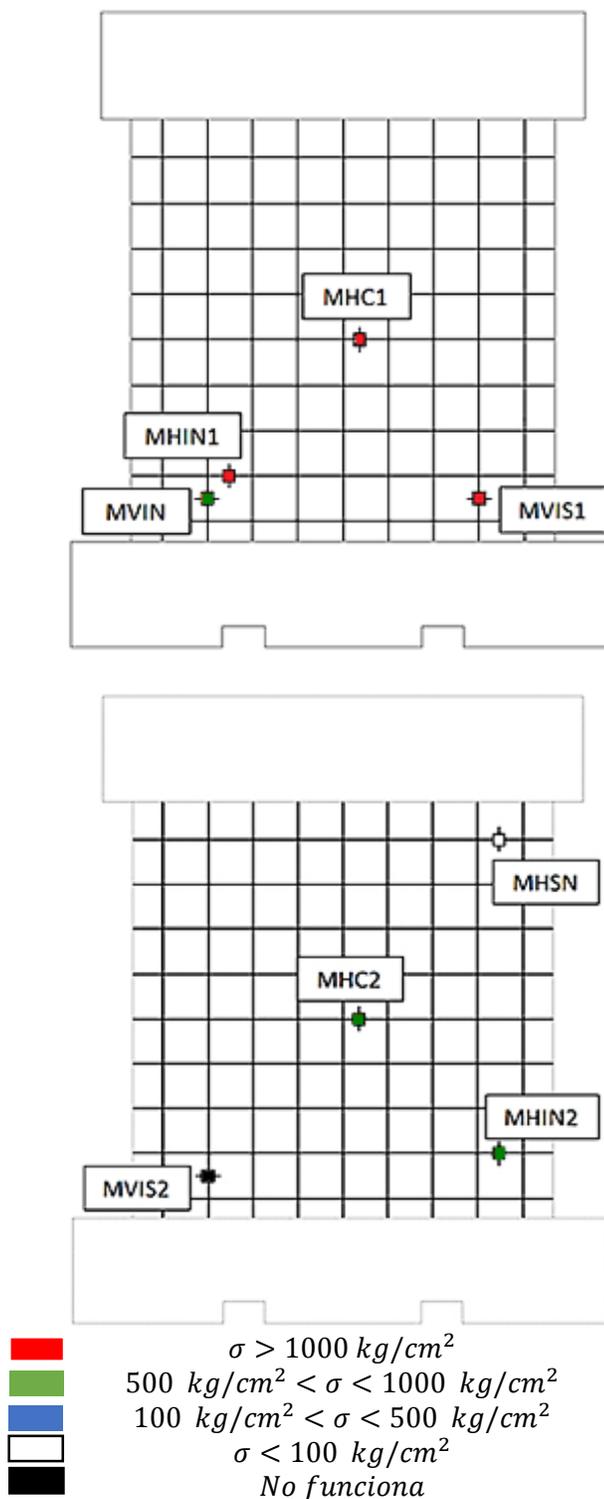


Figura 5.46: Resistencia de los alambres de la malla - esfuerzos de compresión. [Superior: Vista Oeste; Inferior: Vista Este].

CAPITULO 6

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS A PAREDES DE MAMPOSTERIA REFORZADA.

CAPITULO 6: ANÁLISIS DE RESULTADOS DE PAREDES DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

A continuación, se presenta el análisis de resultados de los ensayos pseudoestáticos cíclicos con carga vertical constante, al que se sometieron las paredes de mampostería reforzada, las cuales fueron llevadas a un nivel de daño moderado conforme a lo expuesto en el capítulo 4. Luego fueron intervenidas estructuralmente mediante las técnicas del parcheo estructural y encamisado con malla electro soldada, tal como se describo en el capítulo 5.

Las paredes intervenidas fueron ensayadas para evaluar la eficacia de las técnicas de intervención para devolver a las paredes parte de las propiedades mecánicas que fueron alteradas con los daños producidos por sismos. Además, es posible observar las características del nuevo patrón de daño, el comportamiento de la mampostería intervenida en conjunto con los materiales y componentes utilizados para su intervención.

Finalmente se presenta un análisis del costo económico, que implicaría aplicar las técnicas del parcheo estructural y encamisado con malla electro soldada, en edificaciones con sistema estructural a base de paredes mampostería reforzada, que presenten daños producidos por eventos sísmicos.

6.1 Análisis de resultados de la técnica parcheo estructural

La pared BC-M03 fue ensayada y llevada a un nivel de daño moderado, este nivel de daño se alcanzó en el décimo ciclo, cuando al aplicar una carga lateral de 6.8 ton, se registraron distorsiones de 0.58% para los semiciclos positivos y -0.66% para los semiciclos negativos, Posteriormente el espécimen fue intervenido estructuralmente con la técnica del parcheo estructural. La nomenclatura asignada luego de la intervención fue BC-M03RP.

Los resultados de los ensayos realizados a la pared BC-M03 en su condición original y luego de ser intervenida con la técnica del parcheo estructural son analizados a continuación.

La pared intervenida (BC-M03RP) fue ensayada hasta su falla, por lo que es posible analizar su comportamiento cuando alcanzó un nivel de daño moderado comparándola con su condición original (BC-M03). Mientras que para analizar su comportamiento total se compara con la pared patrón BC-M01, la cual sirvió para conocer el comportamiento típico y patrones de falla de la mampostería en estudio.

6.1.1 Patrón de daño

En la Figura 6.1 se presenta el patrón de grietas que la pared BC-M03 mostró para una carga de 6.8 ton en su condición original y luego de ser intervenida. Se puede observar que la cantidad de grietas que aparecieron en la pared intervenida (BC-M03RP) producto de una carga lateral de 6.8 ton, fue menor a

la cantidad de grietas mostradas en la pared BC-M03 bajo la misma carga. Además, se aprecia que las grietas en su mayoría se presentaron cercanas y de forma paralela a las zonas intervenidas.

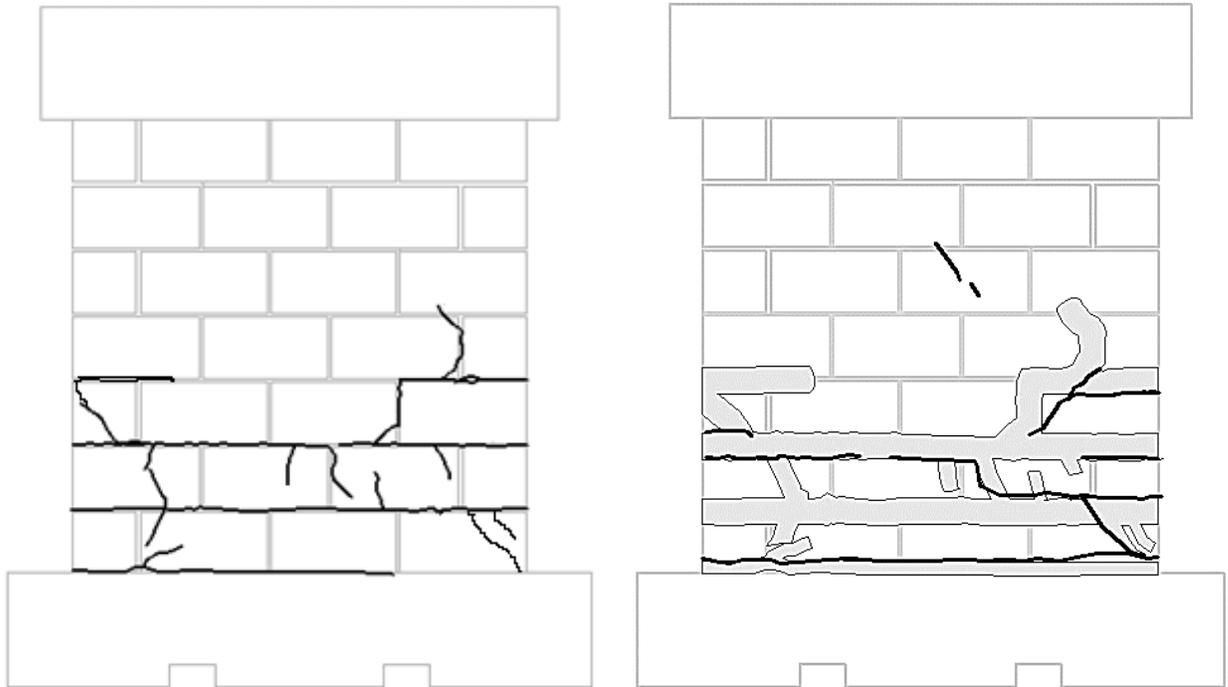


Figura 6.1: Patrón de grietas. Izquierda pared BC-M03. Derecha pared BC-M03RP.

Como se puede observar en la Figura 6.2, las grietas se produjeron en las unidades de mampostería, debido a que el puente de adherencia tiene mayor resistencia a esfuerzos cortantes y de tensión que el bloque de concreto. De esta manera se demuestra que el puente adherente se comportó de una manera adecuada, impidiendo que el mortero de reparación se separara del bloque de concreto tal como se mostró en el apartado 5.3.2.

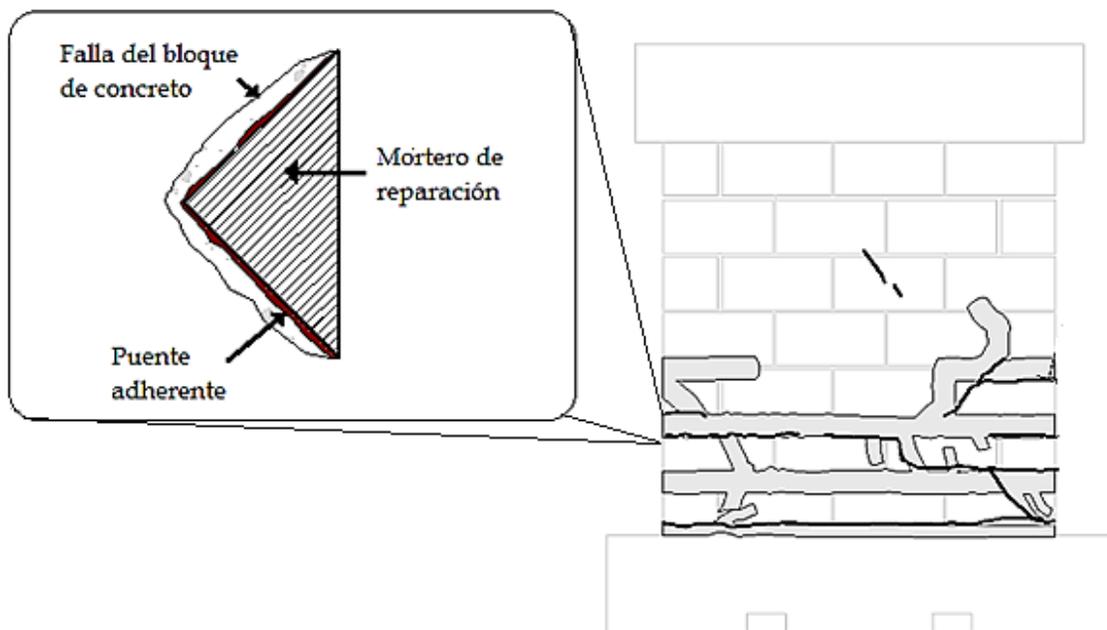
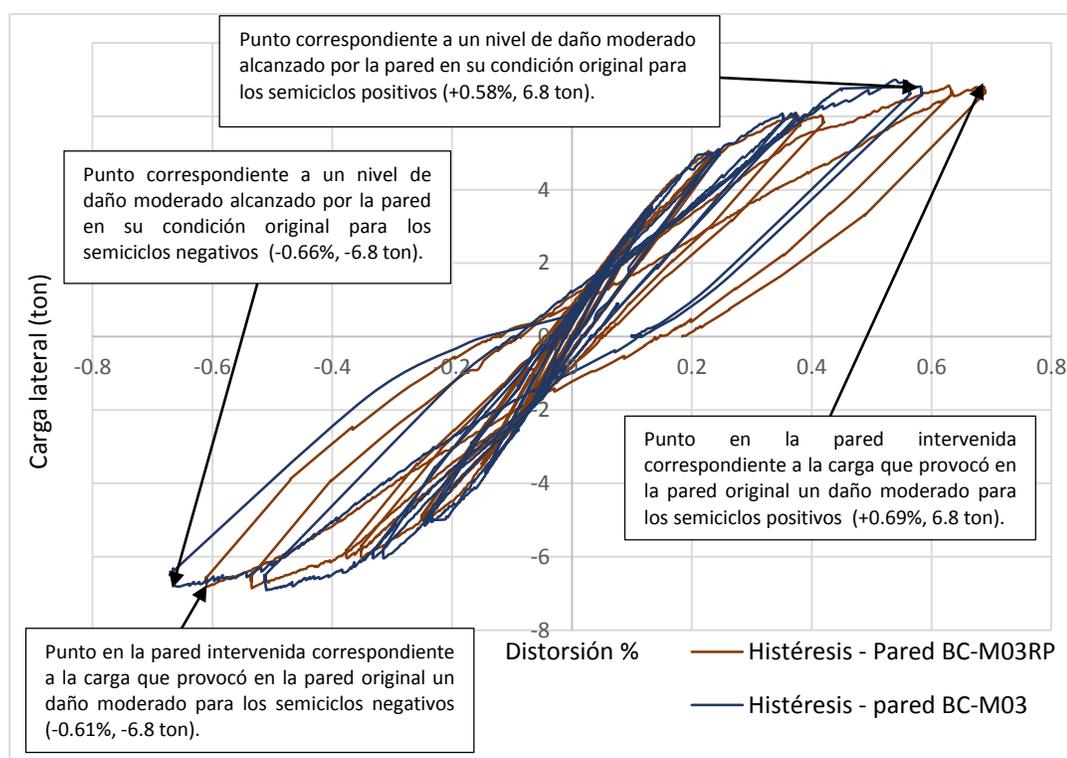


Figura 6.2: Falla en el bloque de concreto.

6.1.2 Comportamiento histéretico

En la Gráfica 6.1 se presenta la superposición del comportamiento histéretico de la pared en su condición original y luego de ser intervenida. La curva de histéresis de la pared intervenida es cortada en el décimo ciclo, en el cual se aplicó una carga de 6.8 ton, ya que de esta manera podrá compararse hasta la condición de daño moderado al que fue llevada originalmente. En los primeros semiciclos las pendientes de los lazos de histéresis de ambas curvas son muy similares, pero en los últimos ocho semiciclos se observa que las pendientes de los lazos de la pared en su condición original, son mayores a los de la pared luego de ser intervenida. También se puede observar que en el último semiciclo positivo, el cual corresponde a la repetición de carga de 6.8 ton, la pared intervenida

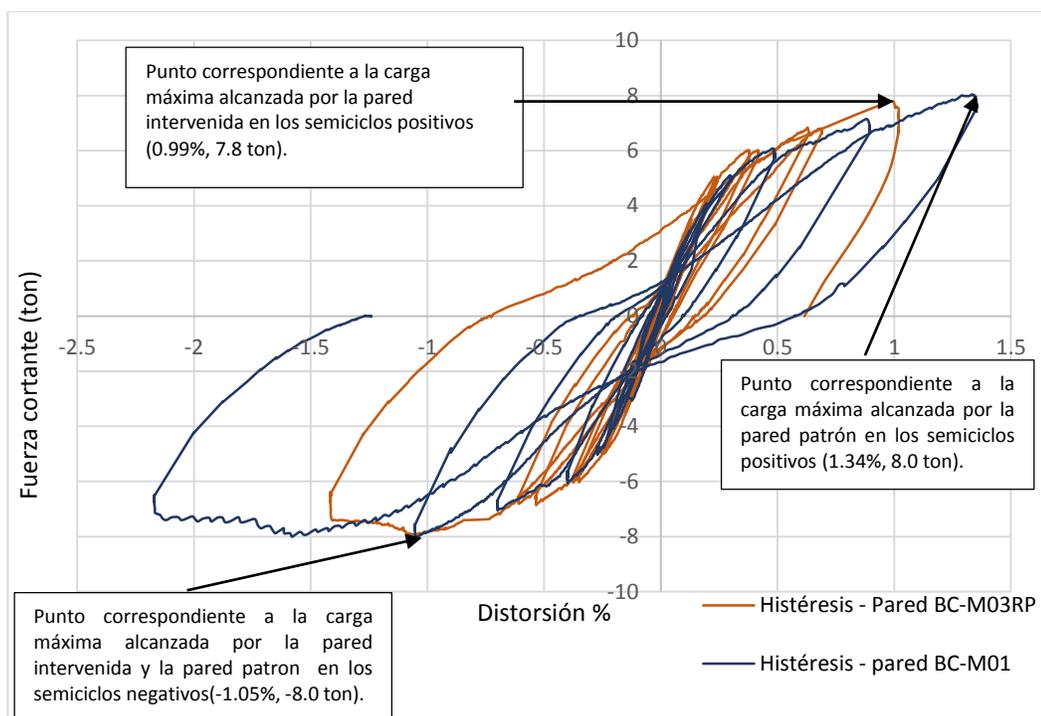
presenta una distorsión mayor (0.69%) que la alcanzada en su condición original (0.58%). En los semiciclos negativos se mantiene un patrón muy similar entre ambas curvas, con excepción del último semiciclo correspondiente a la repetición de carga de -6.8 ton, donde puede observarse que la pared BC-M03RP presenta una distorsión menor (-0.61%) que la alcanzada por BC-M03 (-0.66%).



Gráfica 6.1: Superposición de curvas histéricas de los especímenes BC-M03 y BC-M03RP.

Para poder analizar el comportamiento histérico total de la pared intervenida, se compara con la histéresis obtenida de la pared patrón (ver grafica 6.2), la cual en los semiciclos negativos muestra un compartimento muy similar, alcanzando la carga máxima aproximadamente a la misma distorsión (-1.05%). En los semiciclos positivos se observa que las cargas son alcanzadas por la pared

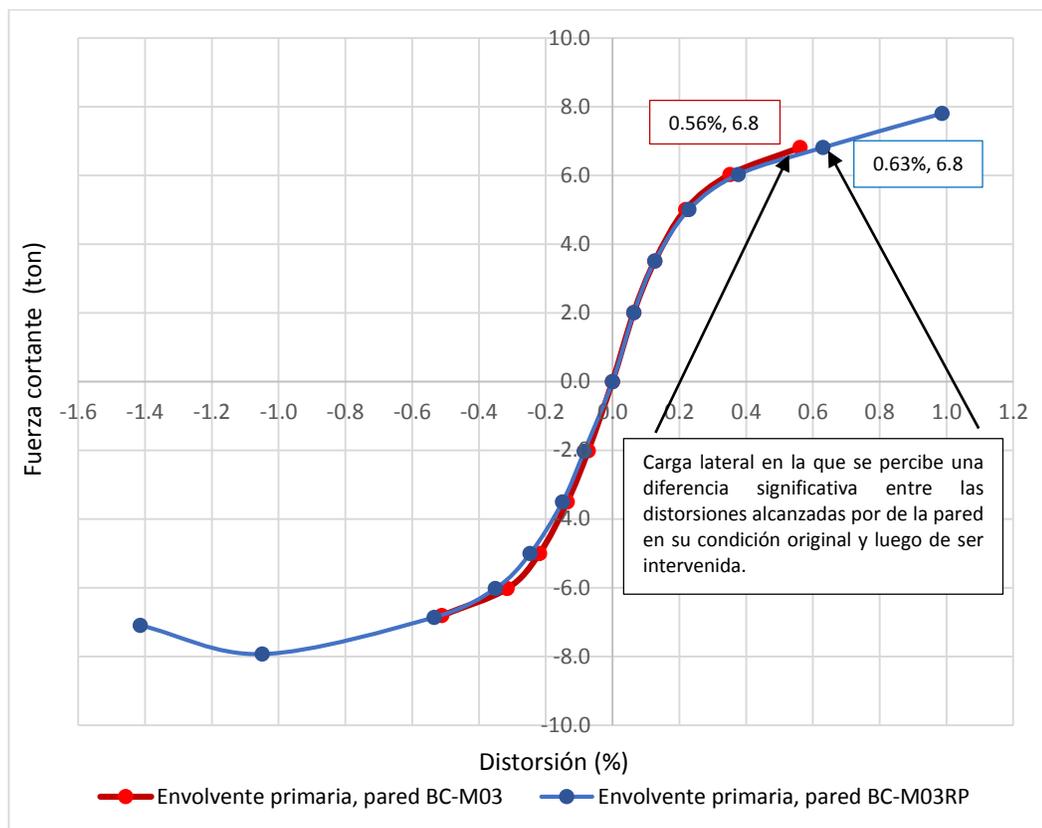
intervenida a menores distorsiones, alcanzando su resistencia máxima a una distorsión de 0.99%, mientras que la patrón lo hizo a una distorsión de 1.34%.



Gráfica 6.2: Superposición de curvas histeréticas de los especímenes BC-M01 y BC-M03RP.

6.1.3 Envoltente de respuestas

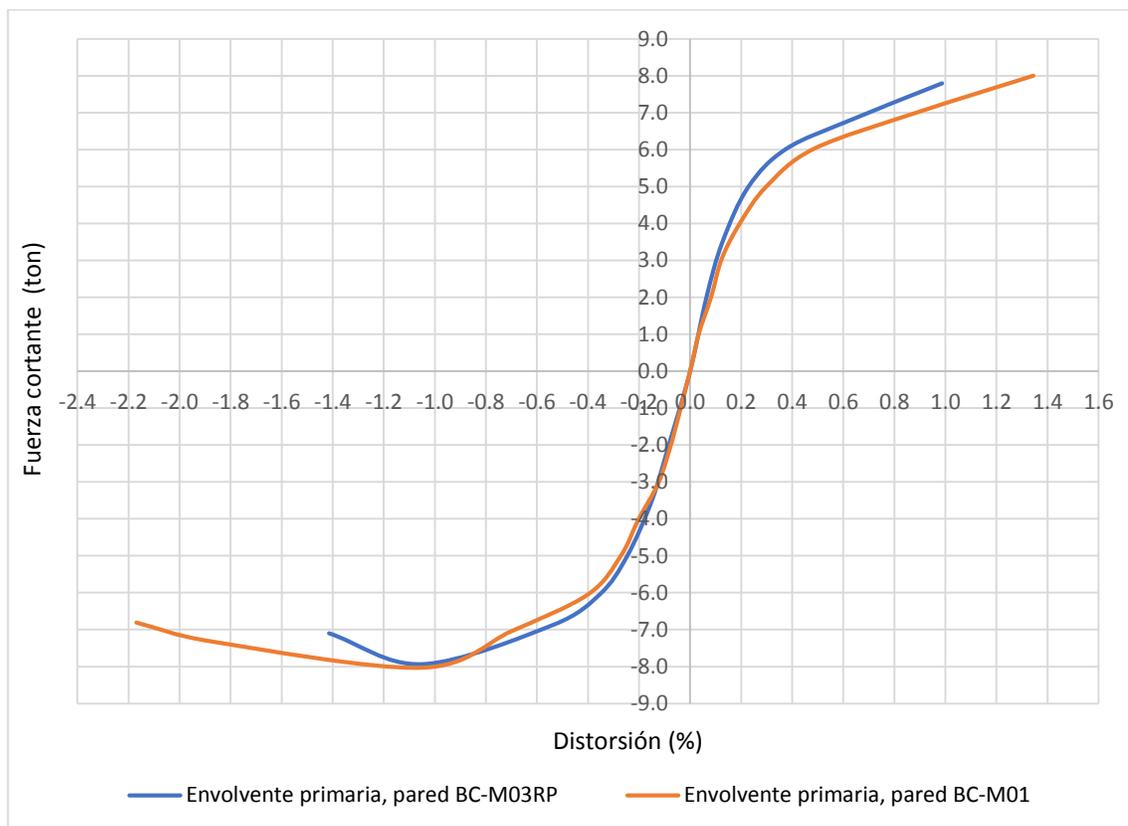
En la Gráfica 6.3 se puede observar la superposición de la envolvente de la pared en su condición original y luego de ser intervenida. El comportamiento en ambas curvas es muy similar, demostrando que con la intervención se logra que la pared requiera cargas laterales similares a las aplicadas en su condición original para alcanzar las mismas distorsiones. Es hasta una carga de 6.8 ton que se percibe una pequeña diferencia en las distorsiones presentadas por la pared en su condición original (0.56%) y luego de ser intervenida (0.63%).



Gráfica 6.3: Superposición de envoltentes primarias de los especímenes BC-M03 y BC-M03RP

En la Gráfica 6.4 se presenta la superposición de la envolvente de respuesta de la pared intervenida (BC-M03RP) y la envolvente de la pared patrón (BC-M01), cuyo comportamiento fue utilizado para definir el nivel de daño al que fueron llevados los especímenes BC-M02 y BC-M03.

En un inicio la rigidez de ambas curvas es similar, pero a medida aumentan las distorsiones se observa que la pared BC-M03RP requiere mayores cargas que la pared patrón (BC-M01) para alcanzar las mismas distorsiones.

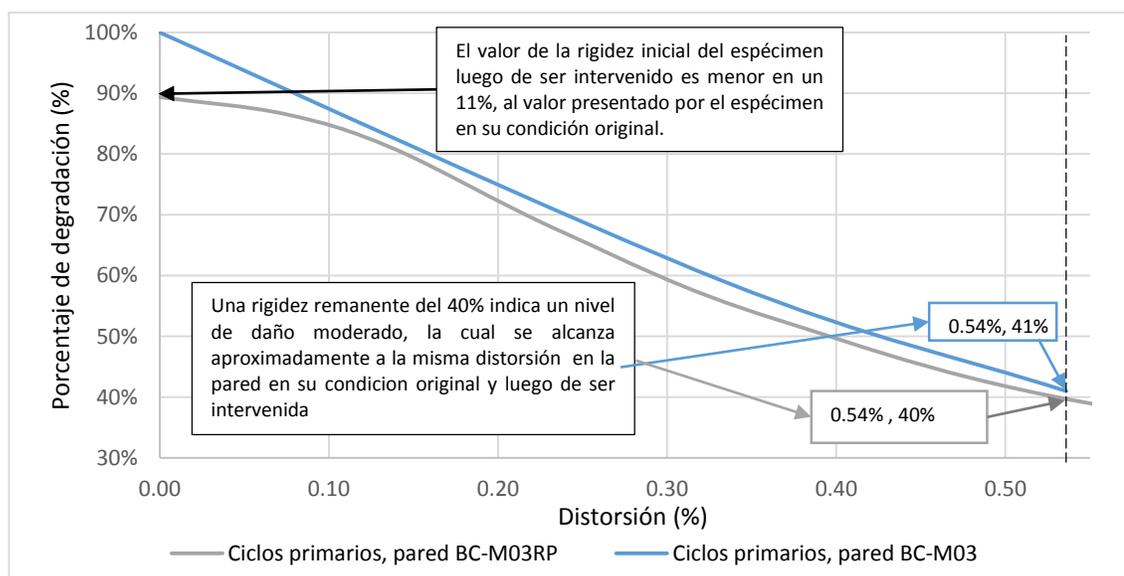


Gráfica 6.4: Superposición de envolventes primarias de los especímenes BC-M01 y BC-M03RP.

6.1.4 Degradación de rigidez

Como se mencionó en el capítulo 4, la rigidez inicial de la pared BC-M03 fue de 19.27 ton/cm y para un nivel de daño moderado esta se había reducido a 6.93 ton/cm. Después de la intervención la pared aumentó significativamente su rigidez llegando hasta 17.22 ton/cm. En el Gráfica 6.5 se presentan las curvas de degradación de rigidez de la pared en su condición original y luego de ser intervenida. Se puede observar que la rigidez inicial de la pared intervenida fue el 89% de la mostrada por el espécimen en su condición original. A medida que la distorsión aumenta, la degradación de rigidez del espécimen BC-M03RP

tiende a ser similar a la degradación de la pared en su condición original, reduciendo la diferencia de rigidez del 11% mostrada al inicio a 1% al finalizar los ciclos primarios en la pared BC-M03, la cual fue llevada hasta un daño moderado.



Gráfica 6.5: Superposición de las curvas de degradación de rigidez de los especímenes BC-M03 y BC-M03RP.

Si bien con la aplicación de la técnica del parcheo estructural no se logró recuperar el 100% de la rigidez inicial presentada por la pared en su condición original, el porcentaje de recuperación alcanzado es muy satisfactorio, pasando de un 36% de la rigidez inicial cuando se encontraba dañada a un 89% después de ser intervenida, demostrando la eficacia de esta técnica en la recuperación de la rigidez. Además, se puede observar en la Gráfica 6.5 que el porcentaje de degradación mostrado por ambas curvas tiende a ser muy similar en la medida en que las distorsiones aumentan, mostrando que el espécimen intervenido

alcanzo un nivel de daño moderado bajo distorsiones muy semejantes a las presentadas en su condición original.

6.2 Análisis de resultados de la técnica del encamisado con malla electro soldada

La pared BC-M02 fue llevada a un nivel de daño moderado, aplicando un total de 8 ciclos. En el último ciclo donde la carga aplicada era de 6 ton se alcanzaron distorsiones de -0.48% en los semiciclos negativos y de 0.49% en los semiciclos positivos.

El ensayo de la pared intervenida BC-M02RF se finalizó sin alcanzar su resistencia máxima, debido al tipo de falla presentada en la pared (cortante por fricción- deslizamiento) observando que en los últimos semiciclos de la prueba la pared se mantenía sujeta a la solera de fundación únicamente a través del refuerzo vertical, poniendo en peligro el equipo y la instrumentación utilizada.

En este apartado se analizan los resultados de los ensayos realizados a la pared en su condición inicial y luego de ser intervenida. Es posible analizar el comportamiento de la pared intervenida, comparándola con su condición original, ya que la pared BC-M02RF fue llevada a una distorsión máxima de 1.40% la cual es mayor a 0.58%, que es la distorsión que provocó en la pared BC-M02 un nivel de daño moderado. Para analizar el comportamiento de la pared intervenida hasta la distorsión alcanzada, es necesario auxiliarse del comportamiento total

de la pared patrón ya que esta manifiesta el comportamiento general de la mampostería en estudio.

6.2.1 Patrón de daño

Como se mencionó en el capítulo 5, en el ensayo de la pared BC-M02RF no se registraron más daños superficiales que la aparición de una grieta horizontal a lo largo de toda la base del espécimen. Al retirar la capa de mortero de la pared los únicos daños observados en la mampostería fueron: una grieta horizontal en la segunda hilada del espécimen y una pequeña grieta por cortante, ambas de un ancho menor a 0.15 mm. Las grietas en la mampostería no se reflejaron en la capa de mortero, este hecho en parte se puede atribuir a la contribución de la malla electro soldada, la cual evitó el aumento de la abertura en la grieta horizontal existente y la formación de nuevas grietas, al resistir parte de los esfuerzos de tensión producidos por los efectos de flexión en la mampostería.

A pesar que se registraron altos esfuerzos de tensión en los alambres verticales de los extremos de la malla, llegando a valores de hasta 1224 kg/cm^2 (ver Tabla 5.5), no se puede atribuir únicamente a la malla que hasta la carga aplicada no se mostraran grietas por flexión en la pared que se reflejaran en la capa de mortero, ya que por el aumento de la presión vertical que proporcionaba del gato hidráulico de 3.6 kg/cm^2 a 6.5 kg/cm^2 (ver apartado 5.4.3), se contrarrestaron en cierta medida los momentos de volteo, y se aumentó la fricción entre el mortero y las piezas de bloque de concreto en las juntas horizontales. Este aumento en

la presión del gato se presentó como una respuesta a la rotación del espécimen al aumentar la abertura de la grieta en la base de la pared, llegando a valores de hasta 1.2 cm. En la Figura 6.3 se puede observar la diferencia en el daño presentado en la pared intervenida BC-M02RF y la pared BC-M02 la cual presentaba un daño moderado para la misma carga aplicada.

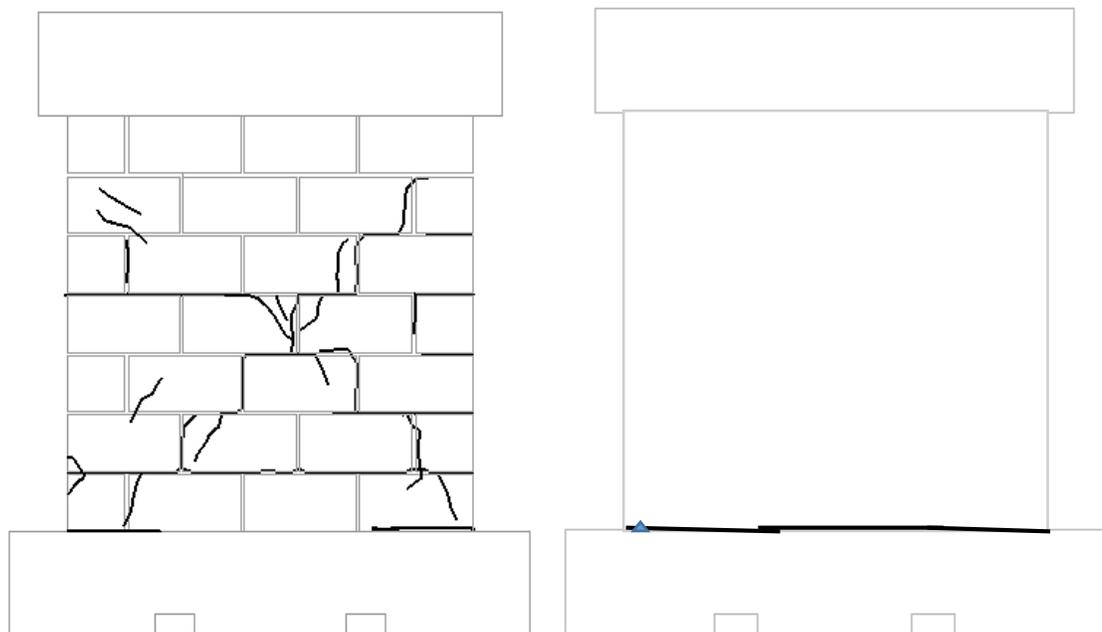
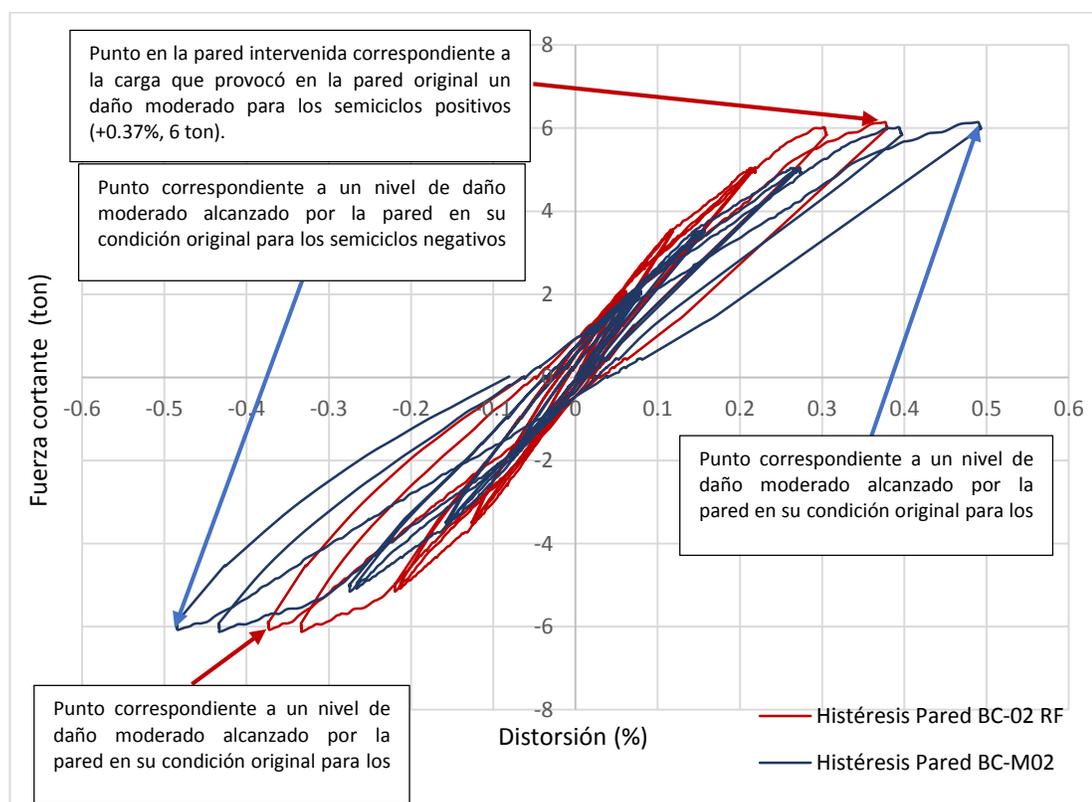


Figura 6.3: Patrón de grietas. Izquierda pared BC-M02. Derecha pared BC-M02RF.

6.2.2 Comportamiento histéretico

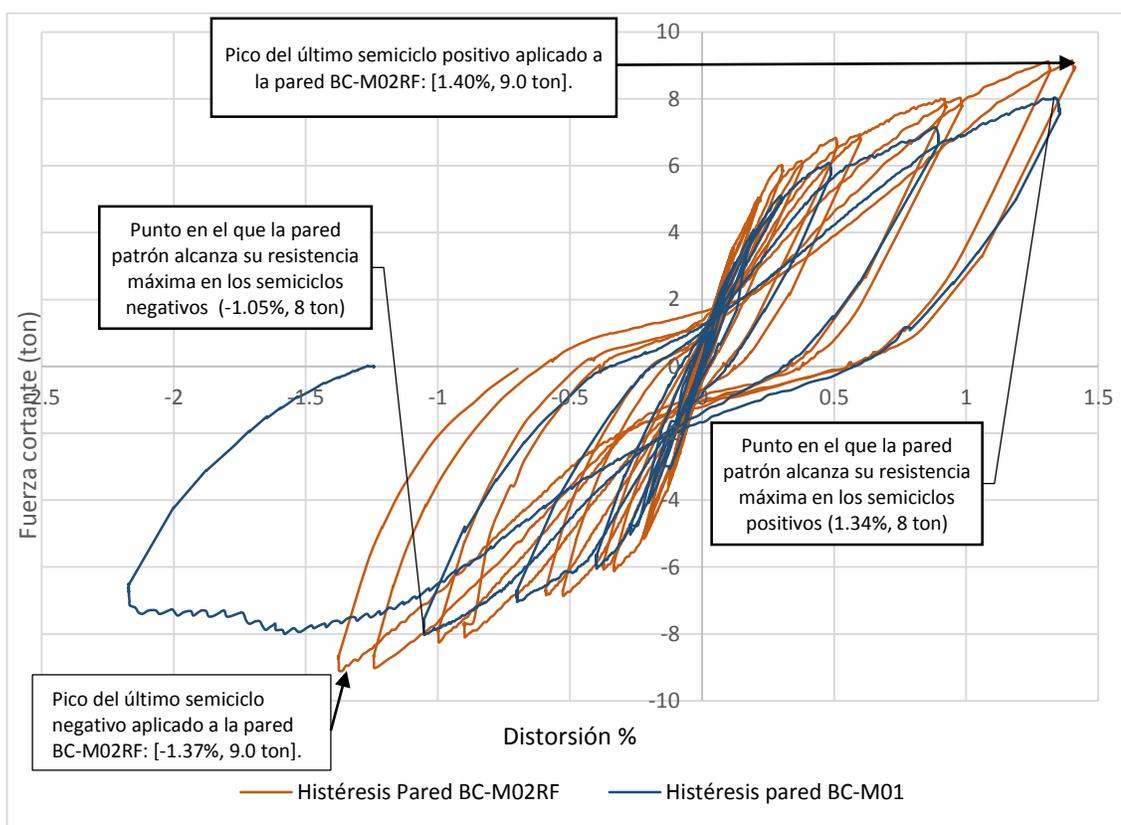
En la Gráfica 6.6 se presenta la superposición de la curva histerética de la pared en su condición original (BC-M02) y luego de ser intervenida (BC-M02RF). La curva de histéresis de la pared intervenida es cortada en el octavo ciclo, en el cual se aplicó una carga de 6 ton, esto para poder compararse hasta la condición de daño moderado al que fue llevada originalmente. Se puede observar que tanto

en los semiciclos positivos como negativos, las pendientes de los lazos de histéresis de la pared intervenida son mayores a las que muestra en su condición original, además se aprecia que las distorsiones alcanzadas por BC-M02 en los picos de cada semiciclo, son mayores a los registrados en el ensayo de BC-M02RF, por ejemplo en el semiciclo +8 en el cual se aplicó por segunda vez una carga de 6 ton, la pared en su condición original presentó una distorsión mayor (+0.49%) con respecto a la presentada después de ser intervenida (+0.37%). En los semiciclos negativos el comportamiento es muy similar donde en el último ciclo de aplicación de carga las diferencias de distorsiones son muy similares a las presentadas en los semiciclos positivos.



Gráfica 6.6: Superposición de curvas histeréticas de los especímenes BC-M02 y BC-M02RF.

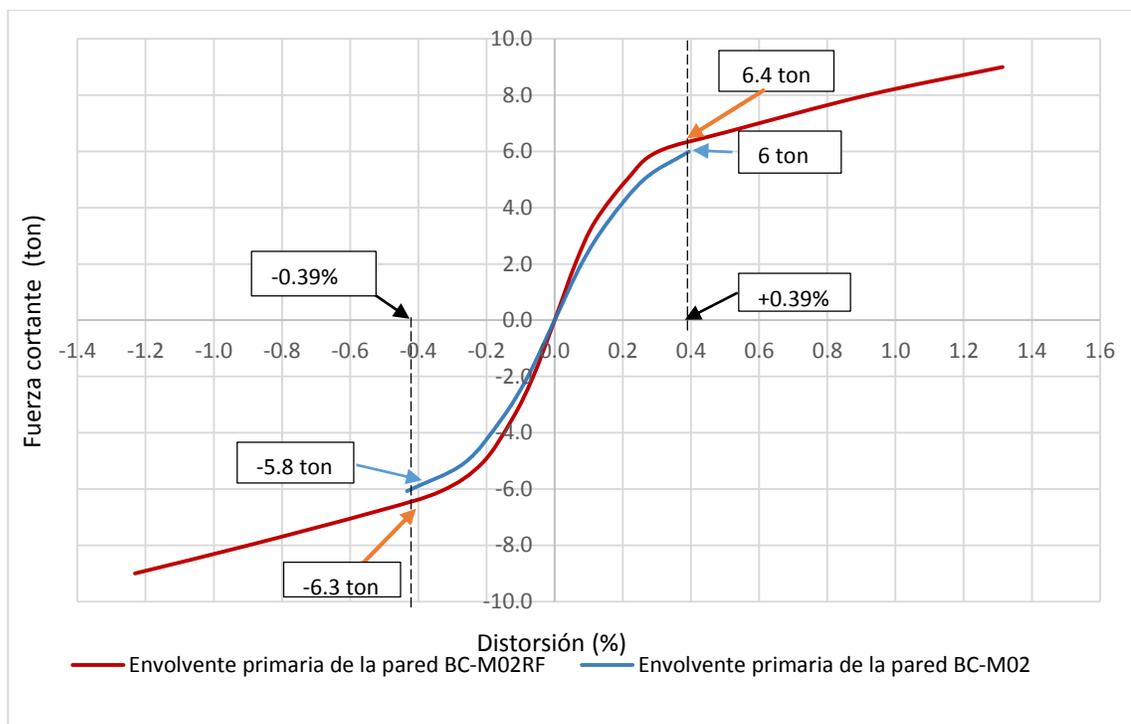
Para poder analizar el comportamiento total de la pared luego de ser intervenida, se presenta en la Gráfica 6.7 la superposición de las curvas de histéresis de la pared BC-M02RF y la pared patrón BC-M01. Se puede observar que tanto en los semiciclos positivos como negativos la pared intervenida alcanza las cargas a menores distorsiones, lo cual demuestra que la rigidez y resistencia de la pared intervenida es mayor a la mostrada por la pared patrón en todo su comportamiento. Al finalizar la prueba la pared intervenida había superado la carga máxima alcanzada por la pared patrón.



Gráfica 6.7: Superposición de curvas histeréticas de los especímenes BC-M01 y BC-M02RF.

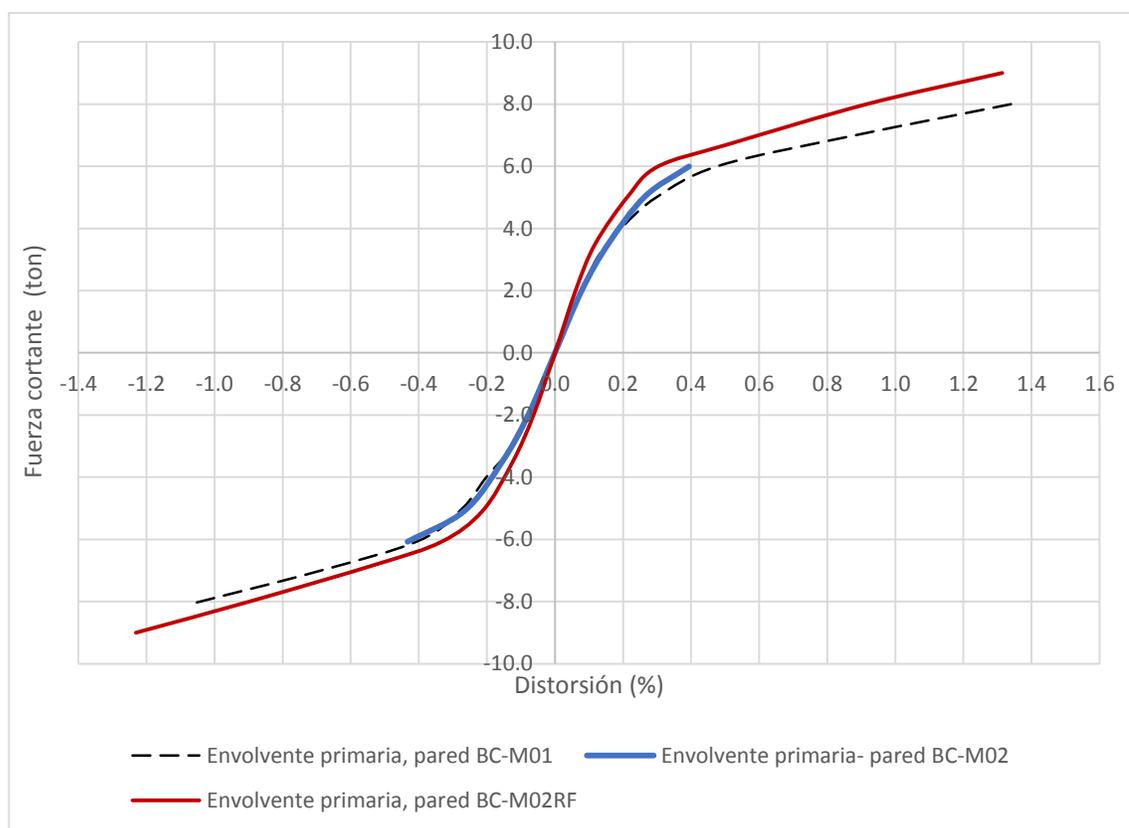
6.2.3 Envoltentes de respuesta

En la Gráfica 6.8 se observa la superposición de las envoltente de la pared en su condición original y luego de ser intervenida, se puede apreciar que desde bajas distorsiones la pared intervenida requiere mayores cargas laterales que la pared en su condición original para producir una distorsión dada, por ejemplo para que la pared en su condición original alcanzara una distorsión de +0.39%, se requirió una carga de 6 ton mientras que luego de ser intervenida para producir esa misma distorsión se requirió una carga de 6.4 ton.



Gráfica 6.8: Superposición de envoltentes primarias de los especímenes BC-M02 y BC-M02RF.

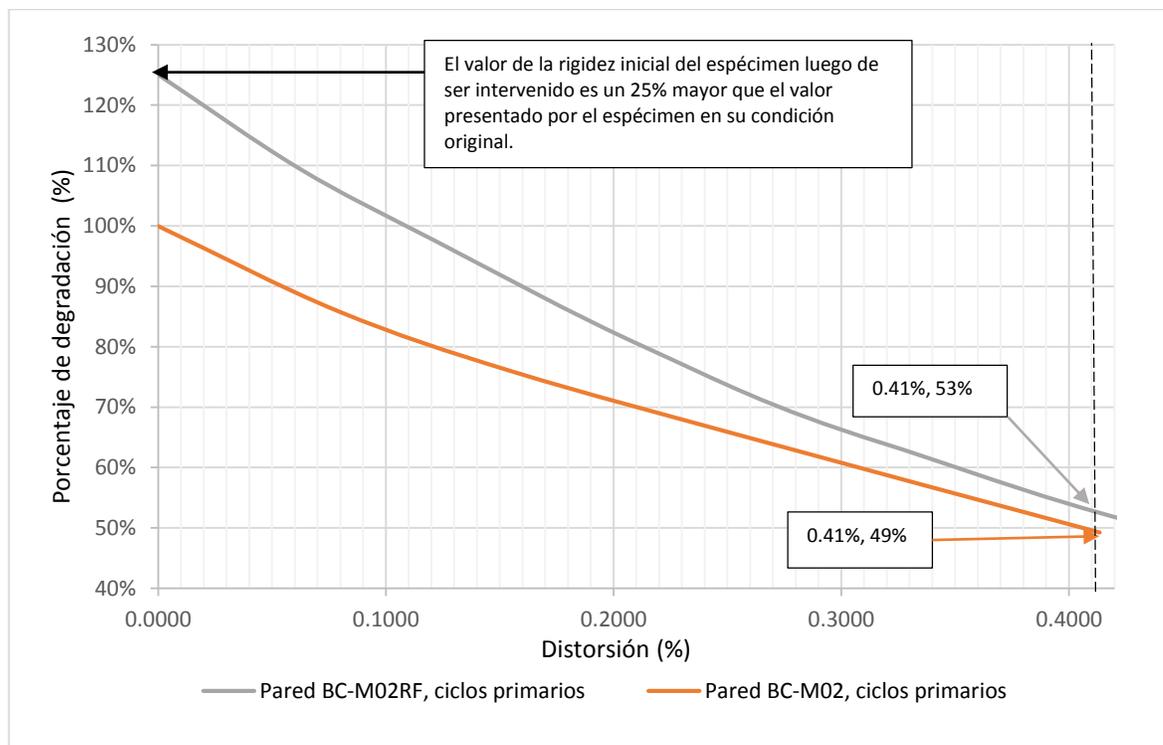
En el Gráfica 6.9 se presenta la superposición de las envolventes de la pared en su condición original (BC-M02) y luego de ser intervenida (BC-M02RF), además de la envolvente de la pared patrón (BC-M01). Como se puede observar en su condición original la pared BC-M02 mostró un comportamiento similar al de la pared patrón (BC-M01), pero luego de ser intervenida con la técnica del encamisado con malla electro soldada, se observa que esta requirió mayores cargas laterales que la pared patrón, para producir las mismas distorsiones.



Gráfica 6.9: Superposición de envolventes primarias de los especímenes BC-M01, BC-M02 y BC-M02RF.

6.2.4 Degradación de rigidez

En el capítulo 4 se mencionó que la rigidez inicial de la pared BC-M02 fue de 18.17 ton/cm, mientras que la rigidez inicial de la pared intervenida fue de 22.72 ton/cm. En el Gráfica 6.10 se presenta la curva de degradación de rigidez de la pared en su condición original y luego de ser intervenida. Se puede observar que la rigidez inicial de la pared intervenida fue del 125% de la rigidez mostrada por el espécimen en su condición original. Además, se observa que a medida que la distorsión aumenta, la diferencia entre los porcentajes de degradación se reduce de 25% mostrada al inicio a 4 % al finalizar los ciclos primarios en la pared BC-M02 la cual fue llevada hasta un daño moderado.



Gráfica 6.10: Superposición de las curvas de degradación de rigidez de los especímenes BC-M02 y BC-M02RF.

Tal y como se esperaba, el aumento en la rigidez de la pared BC-M02 luego de ser intervenida con la técnica del encamisado con malla electro soldada fue muy significativo pasando de 7.70 ton/cm cuando se encontraba en un nivel de daño moderado a 22.72 ton/cm luego de la intervención. Este resultado demuestra la eficiencia de esta técnica para mejorar las propiedades mecánicas de los elementos estructurales dañados por eventos sísmicos, por lo que puede ser utilizada como método de reparación y reforzamiento de edificaciones con un sistema estructural a base de paredes de mampostería reforzada.

6.3 Análisis de Costos

En esta sección se presentan los costos que conllevaría intervenir estructuralmente una pared (ver Figura 6.4) a escala natural de mampostería reforzada, con las técnicas del parcheo estructural y encamisado con malla electro soldada. La pared se encuentra en un daño moderado y el patrón de grietas es basado en el daño mostrado en las paredes BC-M02 y BC-M03.

El objetivo de analizar los costos de intervenir una pared a escala natural con las técnicas estudiadas, es presentar un ejemplo con dimensiones y condiciones más apegadas a la realidad, y de esta manera obtener costos más representativos. El análisis se ha realizado utilizando los rendimientos observados durante la intervención de las paredes BC-M02 y BC-M03.

La pared a analizar tiene un área de 9 m² y la longitud total de grietas producto de los daños por sismos es de 33.76 m.

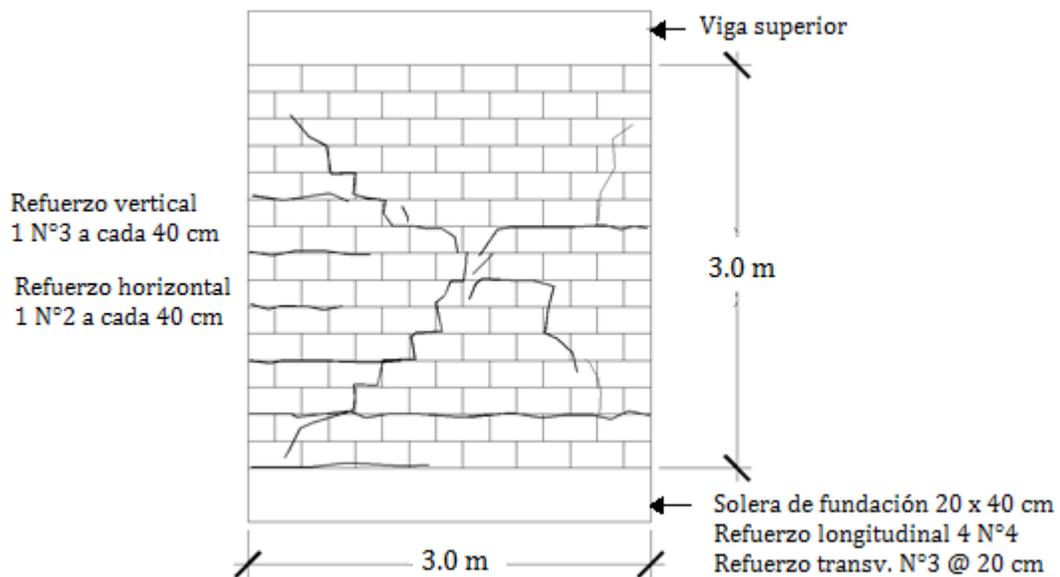


Figura 6.4: Pared con daño moderado, Longitud de grietas= 33.76 ml

6.3.1 Análisis de costo del parcheo estructural

A continuación, se presentan los costos de materiales, herramientas y mano de obra necesaria para intervenir mediante la técnica del parcheo estructural la pared mostrada en la Figura 6.4

6.3.1.1 Cuantificación de materiales

- Mortero de reparación

Del proceso de intervención realizado al espécimen BC-M03 se determinó un rendimiento de 1.34 kg de mortero por metro lineal de grieta. Considerando que la longitud total de grietas es de 33.76 ml se tiene que la cantidad de mortero a utilizar es:

$$\text{Cantidad de mortero} = 1.34 \frac{\text{kg}}{\text{ml}} \times 33.76 \text{ ml} = 45 \text{ kg}$$

El mortero de reparación comercialmente se presenta en bolsas de 25 kg por lo que la cantidad de bolsas necesarias es calculada de la siguiente manera:

$$N^{\circ}Bolsas = \frac{45}{25} = 1.8 \text{ bolsas} \approx 2 \text{ bolsas}$$

$$Cantidad P.U = \frac{2 \text{ bolsas}}{9 \text{ m}^2} = 0.2222 \text{ bolsas/m}^2$$

- Puente de adherencia

Según los rendimientos mostrados durante el proceso de intervención del espécimen BC-M03, se tiene que se utiliza 0.1428 kg del material por cada ml de grieta, entonces:

$$Cantidad \text{ Puente de Adherencia: } 33.76 \times 0.1428 = 4.82 \text{ kg} \approx 5 \text{ kg}$$

$$Cantidad P.U = \frac{5 \text{ kg}}{9 \text{ m}^2} = 0.5555 \text{ kg/m}^2$$

6.3.1.2 Mano de obra

- Picado y colocación de mortero en grietas

Personal: 1 albañil + 1 Auxiliar

Rendimiento: 7.5 ml/ día

Requerimiento: $33.76/7.5 = 4.50$ días

$$Cantidad P.U = \frac{4.50 \text{ dias}}{9 \text{ m}^2} = 0.5 \text{ dia/m}^2$$

6.3.1.3 Herramientas

- Equipo Para apuntalamiento

Debido a que la pared a intervenir es un muro de carga que sostiene una losa, se considera necesario apuntalar la losa, considerando el alquiler de puntales metálicos por un periodo de 7 días.

- Herramientas menores

Se considerará un 3% para del precio unitario para herramientas menores.

INTERVENCIÓN - PARCHEO ESTRUCTURAL				
Reparación estructural mediante parcheo	Unidad: m² P.U: \$34.04			
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
MATERIALES				
Sika-Monotop SM bolsa de 25 kg	bolsa	0.2222	\$24.34	\$5.41
Puente de Adherencia, Sikadur 32	kg	0.5556	\$20.57	\$11.43
Total, Materiales				\$16.84
Mano de Obra				
Albañil	día	0.5	\$13.82	\$6.91
Auxiliar	día	0.5	\$10.65	\$5.33
Total, Mano de Obra				\$12.24
Equipo				
Apuntalamiento	día	0.7778	0.75	\$0.58
Herramientas	sg	1	\$1.05	\$1.05
Total, Equipo				\$1.05
			Costo Directo	\$30.12
			IVA (13%)	\$3.92
			TOTAL	\$34.04

Tabla 6.1: Análisis de precio unitario de la intervención mediante el parcheo estructural

6.3.2 Análisis de costo del encamisado con malla electro soldada

A continuación, se presentan los costos de materiales, herramientas y mano de obra necesaria para intervenir mediante la técnica del encamisado con malla electro soldada la pared mostrada en la Figura 6.4

6.3.2.1 Cuantificación de material

- Malla metálica

El área bruta de la pieza de malla electro soldada es de 14.1 m², considerando un encamisado para ambas caras de la pared:

$$\text{Area a reforzar: } 3 \times 3 \times 2 = 18 \text{ m}^2$$

$$\text{N}^\circ \text{ de Mallas: } \frac{18}{14.1} = 1.27 \approx 2 \text{ piezas}$$

$$\text{Cantidad P.U} = \frac{2 \text{ mallas}}{9 \text{ m}^2} = 0.2222 \text{ pieza/m}^2$$

- Mortero relleno de grietas

Para la pared mostrada en la Figura 6.4 se cuantifican 33.76 m de longitud de grietas

$$\text{Longitud de grietas: } 33.76 \text{ m}$$

$$\text{Area de relleno} = 0.001 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen de mortero: } 0.001 \times 33.76 = 0.03376 \text{ m}^3$$

Considerando un 10% de desperdicio

$$\text{Volumen} = 0.03376 \times 1.1 = 0.03716 \text{ m}^3$$

$$\text{Cantidad P.U} = \frac{0.0371 \text{ m}^3}{9 \text{ m}^2} = 0.00412 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

- Acero

El acero N°2 se utiliza para anclar la malla metálica a la pared. El anclaje es en forma de C, con una longitud de 0.35 m cada pieza, considerando 9 anclajes/m²

Para una pared de 9 m²:

$$N^{\circ} \text{ Anclajes: } 9 \frac{\text{anclajes}}{\text{m}^2} \times 9 \text{ m}^2 = 18 \text{ anclajes}$$

$$\text{Longitud} = 18 \text{ anclajes} \times 0.35 \text{ m} = 6.3 \text{ ml}$$

Se considera usar 2 varillas de 6 m

$$\text{Quintalaje} = \frac{2}{30.64} = 0.06527 \text{ qq}$$

$$\text{Cantidad P.U} = \frac{0.06527 \text{ qq}}{9 \text{ m}^2} = 0.00694 \text{ qq/m}^2$$

En el precio unitario de la varilla se considera un porcentaje de alambre de amarre.

- Epóxico para unir anclajes

Se considerará usar la mitad de ¼ de galón para lo unión de los anclajes a la mampostería.

- Capa de mortero

En el caso de la capa de mortero se utilizará un costo índice para repellos de superficies con un espesor de 1.5 cm, donde se encuentra incluidos materiales, mano de obra y herramientas necesarias. Tomando en cuenta las 2 caras de la pared el área a repellar es la siguiente:

$$\text{Area a Repellar} = 3 \times 3 \times 2 = 18 \text{ m}^2$$

$$\text{Cantidad P.U} = \frac{18 \text{ m}^2}{9 \text{ m}^2} = 2 \text{ m}^2/\text{m}^2$$

6.3.2.2 Mano de Obra

- Picado y colocación de mortero en grietas

Personal: 1 albañil + 1 Auxiliar

Rendimiento: 7.5 ml/ día

Requerimiento: $33.76/7.5 = 4.50$ días

- Corte y colocación de malla electro soldada y anclajes

Personal: 1 albañil + 1 Auxiliar

Rendimiento: 1.96 m²/ día

Requerimiento: $9/1.96 = 4.59$ días

$$\text{Cantidad P.U} = \frac{9.09 \text{ dias}}{9 \text{ m}^2} = 1.01 \text{ días}/\text{m}^2$$

6.3.2.3 Herramientas

- Equipo de Para apuntalamiento

Debido a que la pared a intervenir es un muro de carga que sostiene una losa, se considera necesario apuntalar la losa, considerando el alquiler de puntales metálicos por un periodo de 7 días.

- Herramientas menores

Se considerará un 3% para del precio unitario para herramientas menores.

ENCAMISADO CON MALLA METALICA				
Reforzamiento con malla metálica	Unidad: m ² P.U: \$52.83			
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
<u>Material</u>				
Electro malla de 6 m 10x10	pieza	0.2222	\$11.32	\$2.52
Mortero 1:2.25	m ³	0.0041	\$173.13	\$0.71
Acero #2	qq	0.0073	\$54.47	\$0.40
Sikadur 31 HI-MOD Gel para unir metal con concreto	1/4 galón	0.0556	\$58.85	\$3.27
Total, Materiales				\$6.89
<u>Mano de Obra</u>				
Albañil	día	1.01	\$13.82	\$13.96
Auxiliar	día	1.01	\$10.65	\$10.76
Total, Mano de Obra				\$24.71
<u>Equipo</u>				
Apuntalamiento	día	0.7778	0.75	\$0.58
Herramientas	sg	1.0000	\$1.00	\$1.00
Total, Equipo				\$1.58
<u>Precio índices</u>				
Repello	m ²	2.000	6.78	\$13.56
Total				\$13.56
			Costo Directo	\$46.75
			IVA (13%)	\$6.08
			TOTAL	\$52.83

Tabla 6.2: Análisis de precio unitario de encamisado con malla metálica

6.3.3 Resumen de resultados

En los precios unitarios antes mostrados se toma en cuenta únicamente los costos directos. Los precios de los materiales se cotizaron en ferreterías locales en julio del 2016, los rendimientos utilizados son de acuerdo a las intervenciones realizadas en la presente investigación.

En la Tabla 6.3 se presentan los precios unitarios de las técnicas de intervención analizadas. Los precios indicados no pueden considerarse como definitivos para determinar el costo real de intervenir una estructura de mampostería reforzada, ya que estos precios se encuentran sujetos a diversos factores tales como la geometría de las paredes, los patrones de grietas y el nivel de daño en el que se encuentren las paredes. Aun así, pueden ser muy útiles para establecer en una pre-evaluación el precio aproximado de aplicar alguna de estas técnicas.

<i>Intervención a aplicar</i>	<i>P.U. / m² - incluye IVA</i>
<i>Parqueo estructural</i>	<i>\$ 34.04</i>
<i>Encamisado con malla electro soldada</i>	<i>\$ 52.83</i>

Tabla 6.3: Precios unitarios de cada técnica de intervención

La factibilidad económica de realizar una intervención en una estructura dañada por un sismo, con respecto a la opción de demoler y reconstruir dicha estructura, es uno de los puntos de mayor interés en la selección de la solución más adecuada durante una evaluación. En la evaluación estructural se debe tomar en cuenta que no todos sus elementos se encontrarán al mismo nivel de daño. Mientras que algunos elementos podrían presentar daños tales que ameriten una

reconstrucción del mismo, otros se encontrarán en niveles de daños menores, en los que sea factible realizar una intervención. Cada caso es particular y será el especialista el que determine a través de la evaluación de la estructura, la solución más adecuada, según las condiciones que se presenten, ya sea aplicar una o varias técnicas de intervención, demoler y reconstruir la estructura, he inclusive realizar una combinación de las opciones anteriores.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

7.1.1 Control de calidad de los materiales

- Según la norma ASTM C90, la resistencia a compresión mínima para cada unidad de bloque de concreto es de 11.7 MPa (119.52 kg/cm²), mientras que la resistencia promedio de tres unidades debe ser mayor a 13.1 MPa (133.58 kg/cm²). Sin embargo, de los ensayos a compresión realizados a los bloques de concreto, se determinó que la menor resistencia que se presentó en las unidades individuales fue de 98 kg/cm² (82% del valor requerido por la norma), mientras que la resistencia promedio de 3 unidades fue de 100.59 kg/cm² (75% del valor requerido por la norma). Los datos anteriores se deben a la utilización de bloques de concreto comercial, conocidos como “bloque 100” los cuales poseen propiedades levemente menores al bloque bajo norma.
- Del ensayo a tensión a las varillas del acero de refuerzo vertical, se observó que el esfuerzo de fluencia promedio de tres especímenes ($f_y = 52,564 \text{ Psi}$) y el porcentaje de elongación alcanzado (20%), fueron mayores a los valores mínimos requeridos por la norma ASTM C370 ($f_y = 40,000 \text{ Psi}$; $\text{elongación} = 11\%$).
- La “Norma técnica para el control de la calidad de los materiales estructurales” de El Salvador, establece que la resistencia a compresión del mortero utilizado en la construcción de paredes de mampostería no debe ser menor a 125 kg/cm². De los ensayos a compresión realizados al mortero elaborado en el

laboratorio para el diseño de mezcla, se observó que la resistencia mostrada (209.28 kg/cm²) fue un 167.4% de la resistencia requerida por la norma.

- El proceso de control de calidad debe iniciar desde el almacenamiento de los materiales (bloques, agregados, acero, cemento), el cual es de vital importancia realizarlo de manera correcta y en las condiciones adecuadas para garantizar que las propiedades de los materiales no se vean alteradas, de lo contrario, aunque el diseño cumpla con las normativas vigentes, el comportamiento de la estructura o elementos constituyentes pueden verse afectados.
- El control de calidad de los materiales (bloques de concreto, varillas de acero) y componentes (mortero, grout) de la mampostería a través de ensayos regulados por normativas, es necesario para asegurarse que, ante la ocurrencia de eventos sísmicos, la respuesta de las estructuras de mampostería reforzada sea según el diseño estructural.
- La resistencia y propiedades de las mezclas de mortero y grout dependen de la calidad y estado de sus componentes (agua, materiales pétreos y cemento), por lo que el control de calidad de estos insumos antes y durante la ejecución de la obra es de suma importancia, ya que influyen directamente en la resistencia y el modo de falla de las paredes de mampostería.
- Según los resultados de los ensayos a compresión simple y diagonal realizados a los prismas de mampostería, se observa que los valores de las propiedades mecánicas obtenidas (módulo de elasticidad, módulo de rigidez

a cortante, resistencia a la compresión simple y compresión diagonal), son mayores a los que se obtienen utilizando las correlaciones establecidas por la “Norma Técnica para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería de El Salvador” (1994). Dichas correlaciones tienen implícitamente un factor de seguridad, ya que fueron creadas para ser utilizadas en los diseños estructurales, cuando no se tenga la posibilidad de realizar ensayos de prismas, por lo que sus resultados no son tan representativos como los obtenidos experimentalmente, los cuales en este trabajo de investigación presentaron un coeficiente de variación (11.3% compresión simple y 12.41% compresión diagonal) menor al mínimo establecido por la APNMX-C-416-416-2002 (15% compresión simple y 20% compresión diagonal), permitiendo de esta manera representar de manera confiable las condiciones reales de la mampostería en estudio.

7.1.2 Construcción de paredes

- Según la “Norma técnica para el control de la calidad de los materiales estructurales” de El Salvador, la resistencia a compresión del mortero y el grout utilizados en la construcción de las paredes de mampostería reforzada, debe ser mayor a 125 kg/cm^2 y 140 kg/cm^2 respectivamente. Sin embargo, del muestreo realizado en campo se observó que tanto el mortero como el grout presentaron resistencias menores a las requeridas por la norma. El mortero llegó a una resistencia de 101.19 kg/cm^2 (81% del valor requerido por la

norma), mientras que el grout alcanzó una resistencia de 116.39 kg/cm^2 (83% del valor requerido por la norma).

- Para que la resistencia del mortero y el grout fabricados en campo sea igual a la especificada en el diseño de laboratorio, es indispensable evitar malas prácticas como agregar agua a la mezcla para aumentar su trabajabilidad luego de que esta ha empezado a endurecer, ya que esto cambia la relación agua/cemento establecida en el diseño y por tanto reduce la resistencia.
- Los ensayos en campo para controlar la calidad del mortero y el grout, son necesarios para verificar que las propiedades de estos componentes cumplan con lo establecido en el diseño de laboratorio y a través de estos determinar si son necesarias correcciones en el diseño.

7.1.3 Metodología de ensayos

- Los ensayos realizados no son más que una idealización de las condiciones presentadas ante un evento sísmico, ya que en los ensayos las paredes son sometidas a deformaciones laterales mediante la aplicación de cargas sostenidas, no considerando las acciones dinámicas propias de un evento sísmico, ni tomando en cuenta los efectos de las cargas fuera del plano que se presentan cuando una estructura se ve sometida a la acción dinámica. Sin embargo, los modos de fallas obtenidos son una buena aproximación a lo reflejado en el comportamiento real presentado a lo largo de la historia en edificaciones de mampostería reforzada.

- En los ensayos la presión vertical que impone el gato hidráulico a los especímenes debe permanecer constante durante toda la prueba. Sin embargo, se comprobó que en el ensayo de la pared BC-M02RF, esta presión varió como una reacción a la rotación de la pared mientras era cargada lateralmente, pasando de 3.6 kg/cm^2 a 6.5 kg/cm^2 . Por lo que en el análisis debe considerarse los esfuerzos de flexo-compresión, producto de la excentricidad y aumento de la presión vertical registrada en el gato hidráulico.
- En los ensayos, las paredes se encontraban libres en sus extremos laterales. Además, no contaban con refuerzo en celdas consecutivas en dichos extremos, ni con las restricciones que producen las conexiones de paredes en la otra dirección. Por lo que en los ensayos se observó un modo de falla menos frágil que el presentado en estructuras de mampostería reforzada con condiciones similares, las cuales presentan menor cantidad de grietas por flexión.

7.1.4 Ensayo de la pared patrón BC-M01

- Según los resultados del análisis realizado para la determinación de la resistencia teórica de los especímenes ensayados, en el cual se utilizaron los valores de las propiedades mecánicas (Módulo de Elasticidad, Módulo de Rigidez a Cortante y Resistencia a la Compresión Simple) obtenidas de los ensayos de prismas a compresión simple y diagonal, se observó que la carga máxima calculada (7.0 ton) resultó ser similar a la máxima carga que fue capaz de soportar la pared patrón (8.0 ton), siendo el valor de esta última mayor, tal

como lo solicita la NTCM en sus criterios de aceptación expuestos en el apéndice A.9.1, para considerar como satisfactorio el desempeño de los especímenes. De igual forma se observó que la carga que inducía el agrietamiento diagonal en la mampostería, obtenida del análisis teórico (5.7 ton), resultó ser muy aproximada a la carga en la cual se produjo el primer agrietamiento por cortante en la pared patrón (BC-M01), que se presentó al finalizar el semiciclo -11, en el cual se aplicó una carga máxima de 6.0 ton. De lo anterior se observa que el uso de los valores de las propiedades mecánicas, que se obtuvieron de los ensayos de prismas a compresión simple y diagonal, en las ecuaciones establecidas por la NTCM para calcular la resistencia lateral de las paredes de mampostería reforzada, permitió que la resistencia teórica obtenida fuera representativa de las condiciones reales de las paredes ensayadas.

- Del ensayo de la pared patrón se observó que, para un nivel de daño moderado, es decir cuando la rigidez se degradó a un 40% de su valor inicial, el espécimen presentó grietas asociadas tanto a la flexión como a cortante. Sin embargo, tal y como se esperaba, aún no se presentaban aplastamientos significativos en las unidades de mampostería ubicadas en las esquinas inferiores de la pared (Ver Figura 7.1). Estas unidades pueden dañarse por la combinación de fallas por cortante y flexión en dicha zona, así como por la ocurrencia de grietas verticales en las esquinas de la pared que se generan por esfuerzos de flexo-compresión.

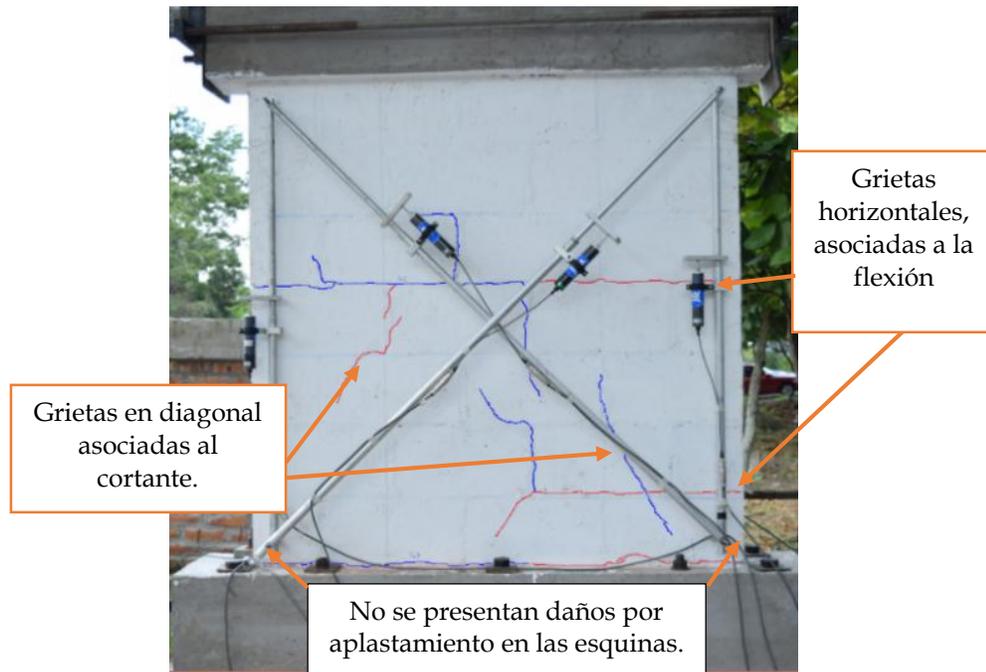


Figura 7.1: Patrón de daños para un nivel de daño moderado, pared BC-M01.

- Las paredes pueden abandonar el rango elástico con el apareamiento del primer agrietamiento diagonal en la mampostería o ante la fluencia del acero de refuerzo vertical, lo que suceda primero. En el caso de la pared patrón BC-M01, predominó la fluencia del acero de refuerzo longitudinal, lo cual sucedió para una degradación de rigidez del 14.7%, ocurriendo a una distorsión de 0.08%. La degradación de rigidez no superó el 20%, lo cual indica que la pared se encontraba en un nivel de daño insignificante.
- De los datos obtenidos de la instrumentación interna de la pared patrón, se observó que la deformación unitaria máxima alcanzada por el acero de refuerzo vertical ($\varepsilon_{max} = 0.023135$) fue el 11.6% de la deformación unitaria de ruptura, obtenida del ensayo a tensión de las varillas de acero ($\varepsilon_u = 0.2$). La

deformación máxima a pesar de no alcanzar la deformación de ruptura, fue 13.1 veces la deformación de fluencia ($\varepsilon_y = 0.00176$ para un $f_y = 3,700 \text{ Kg/cm}^2$), sin duda, una demanda importante en el acero de refuerzo vertical que para fines de diseño solo se considera su aporte hasta la fluencia, ya que luego de superada sigue absorbiendo cargas, especialmente en la zona de endurecimiento por deformación, pero dejando deformaciones permanentes producto de la demanda impuesta.

7.1.5 Aplicación de las técnicas de intervención

- Para la selección de la técnica de intervención a utilizar de debe considerar lo siguiente:
 - En el caso que el especialista encargado de la evaluación estructural determine, que la edificación o elemento estructural no se comportó de una forma satisfactoria, presentando daños significativos ante un evento sísmico de baja intensidad, y que por lo tanto es necesario mejorar su capacidad estructural, la técnica idónea que garantiza que el elemento estructural dañado aumente la capacidad de respuesta con respecto a su condición original es la del encamisado con malla electro soldada.
 - Cuando se determine a través de una evaluación estructural que la edificación o elementos constituyentes se han comportado de una manera satisfactoria y los daños inducidos por un evento sísmico no sean extremos, es decir que no se necesiten sustituciones o mejoras extensas producto de aplastamientos, desprendimientos y daños en el acero de

refuerzo. La técnica del parcheo estructural es la más factible ya que con esta se restauran las características estructurales originales del elemento sin aumentar la masa y rigidez, lo cual evita excentricidades desfavorables en la estructura y concentración de esfuerzos cortantes producto de eventos sísmicos.

7.1.6 Ensayo de la pared reparada con la técnica del parcheo estructural

- El modo de falla predominante observado en la pared BC-M03RP fue por corte, tal y como se esperaba para una pared con relación de aspecto igual a la unidad (ver Figura 7.2). Las grietas por cortante atravesaron las unidades de mampostería e inclusive en algunos casos al mortero de reparación. Se observó que el uso del puente adherente en la intervención estructural garantizó la unión y anclaje del material de reparación con las unidades de mampostería, aumentando la resistencia a corte en la zona de interacción y resistiendo eficazmente los esfuerzos cortantes inducidos durante el ensayo, obligando de esta manera que las fallas se presentaran en las unidades de mampostería y no en el material de reparación.

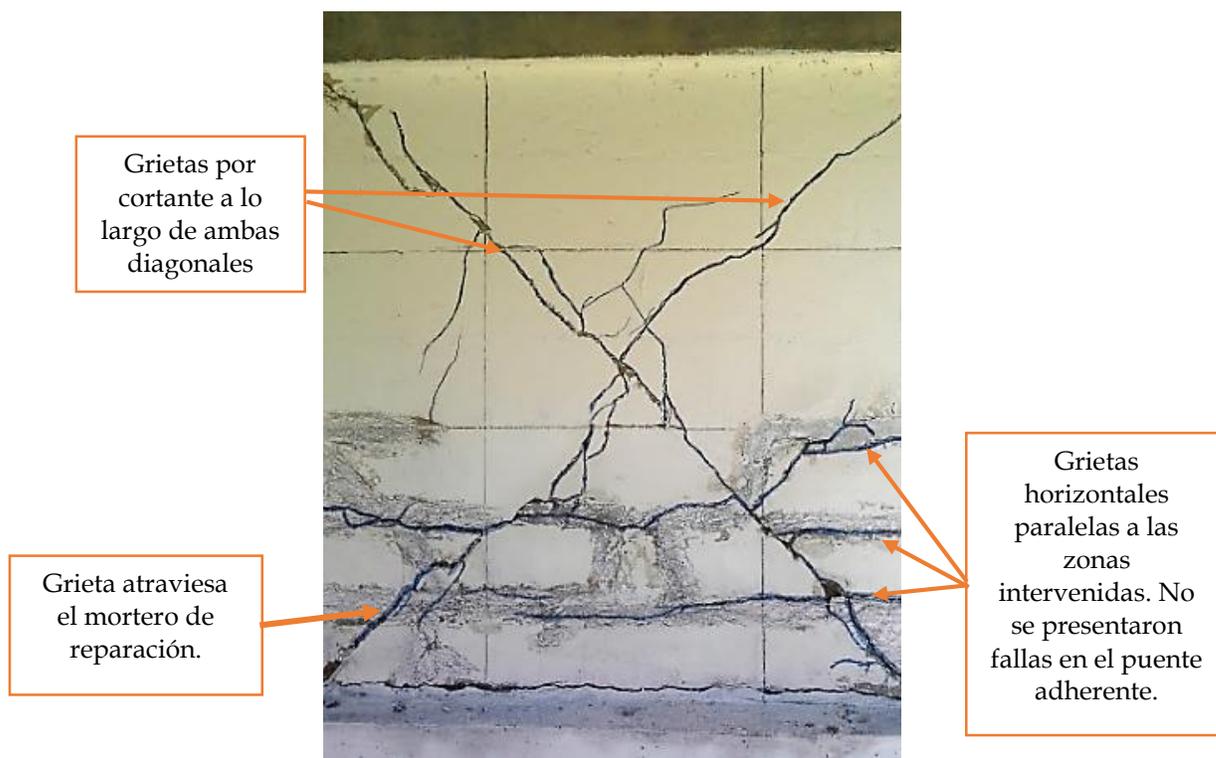
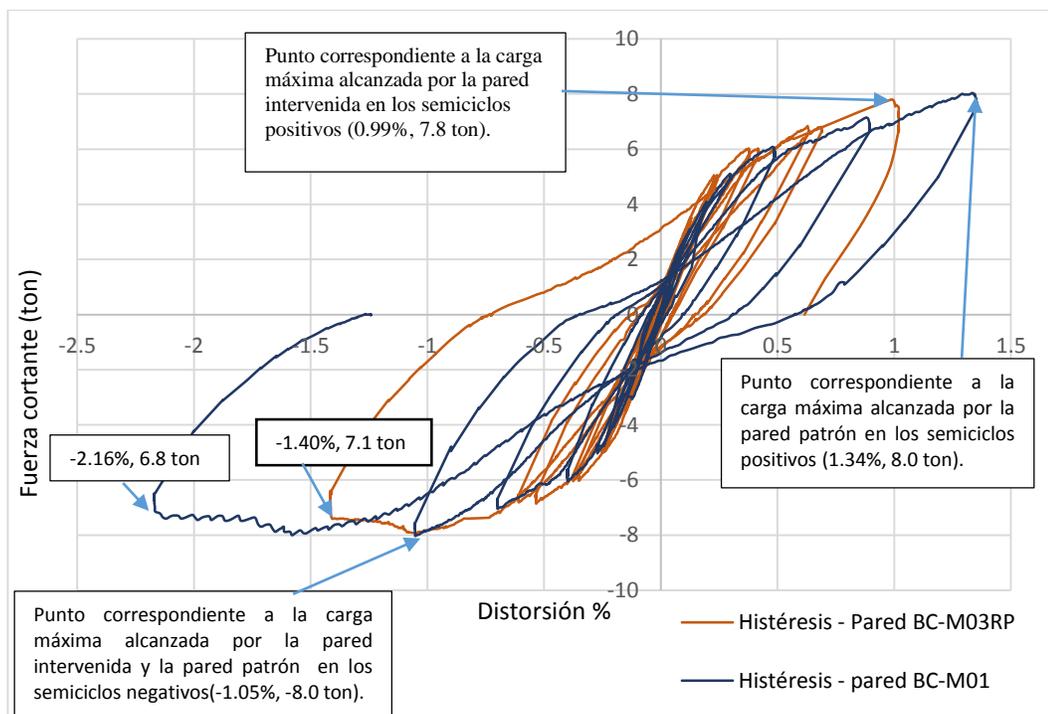


Figura 7.2: Estado final del daño, pared BC-M03RP.

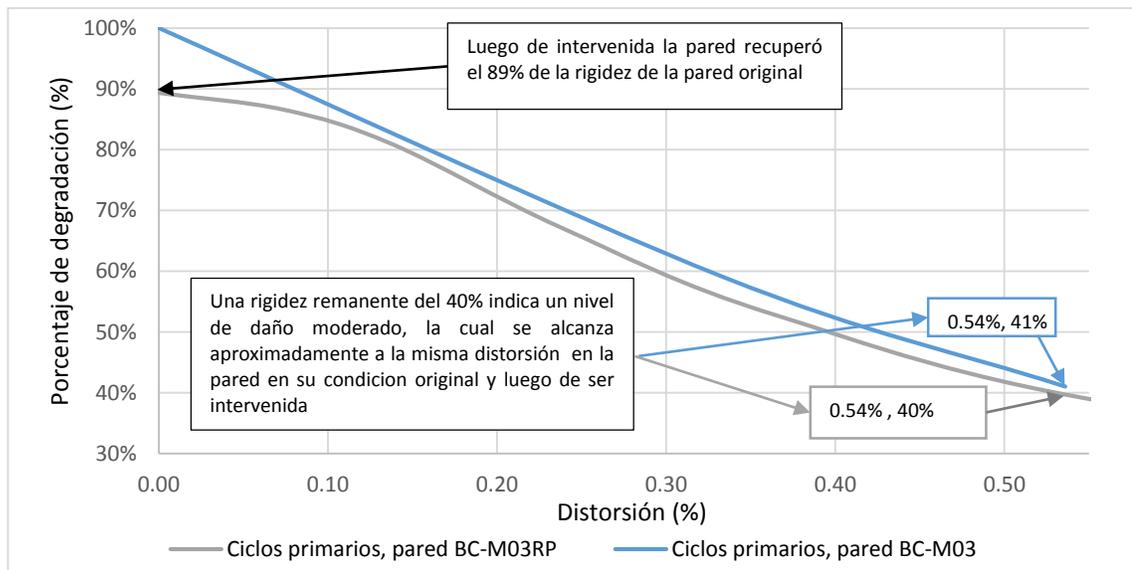
- Si el material de reparación cumple con los requisitos establecidos por la “Norma europea EN 1504, Parte 3: Reparación estructural y no estructural de estructuras de hormigón”, este poseerá una mayor resistencia a esfuerzos cortantes y de tensión que las unidades de mampostería, obligando que las fallas se presenten en la pared, usualmente de forma paralela a las zonas intervenidas.
- Utilizar un material de relleno que presente altas resistencias a edades tempranas, permite optimizar el tiempo de rehabilitación sin comprometer la estabilidad de la estructura.

- La pared reparada con la técnica del parcheo estructural mostró una menor capacidad de resistir las deformaciones inelásticas comparada con la presentada por la pared patrón, alcanzando su resistencia última a una distorsión (1.40%) menor a la alcanzada por la pared patrón (2.17%), tal como se muestra en el Gráfica 7.1. En cuanto a la resistencia máxima alcanzada por la pared intervenida, se observó que fue idéntica a la mostrada por la pared patrón en los semiciclos negativos (8 ton). Este resultado era el esperado, ya que la pared fue llevada a un nivel de daño moderado en el cual existe degradación de rigidez más no de resistencia, por lo que esta propiedad para un nivel de daño moderado no se ve afectada.



Gráfica 7.1: Superposición de las curvas de histéresis de los especímenes BC-M03RP y BC-M01.

- La intervención de la pared BC-M03, con la técnica del parcheo estructural resultó ser muy efectiva en términos de recuperación de rigidez. Se observó que la rigidez de la pared BC-M03, al finalizar el ensayo se había degradado a un 36 % de su valor inicial y después de intervenida esta aumentó hasta un 90% de la rigidez original de la pared. Además, se comprobó que para un nivel de daño moderado lo cual ocurrió a una distorsión de 0.54%, la degradación de rigidez era muy similar: 41% para la pared en su condición original y 40% para la pared intervenida (ver Gráfica 7.2). El espécimen no recuperó el 100% de su rigidez debido a que el grout que se encontraba en las celdas de los bloques de concreto aún se encontraba dañado, además es posible que existieran grietas imperceptibles a simple vista que no fueron tomadas en cuenta en el proceso de intervención.



Gráfica 7.2: Superposición de las curvas de degradación de rigidez. Especímenes BC-M03 y BC-M03RP.

- El costo de reparación depende del nivel de daño y patrón de grietas, ya que mayor cantidad de grietas implica mayor cantidad de puente de adherencia y material de relleno a utilizar en la intervención. Estos materiales debido a sus altos costos son los que influyen en gran medida en el costo de intervención de esta técnica. Del análisis de costos a una pared sin huecos de puerta ni ventanas, con relación de aspecto igual a la unidad y para un nivel de daño moderado, se obtuvo un costo directo incluyendo IVA de \$ 34.04/m².
- El proceso de picado de grietas es el que más influencia tiene en el tiempo de intervención de la técnica del parcheo estructural. De los rendimientos obtenidos en la intervención de la pared BC-M03RP se observó que el 75% del tiempo total de la intervención fue consumido en este proceso.

7.1.7 Ensayo de la pared reforzada con Técnica del encamisado con malla electro soldada

- La falla en la pared BC-M02RF fue por deslizamiento, la cual es un tipo de falla por fricción. Se presentó en la base de la pared, ya que en esta zona la malla electro soldada por no ser anclada a la fundación no pudo absorber los esfuerzos flexionantes resultantes de las cargas laterales. Esta zona a pesar de haber sido reparada con anticipación se considera una zona débil y se esperaba que la falla se presentara en dicha región después de superada la fricción entre la mampostería y el mortero.
- En la técnica de intervención del encamisado con malla electro soldada, es factible utilizar un mortero tipo M para el relleno de las grietas, ya que se

observó luego de remover la capa de mortero, que las grietas que fueron reparadas no presentaban daños (Figura 7.3).

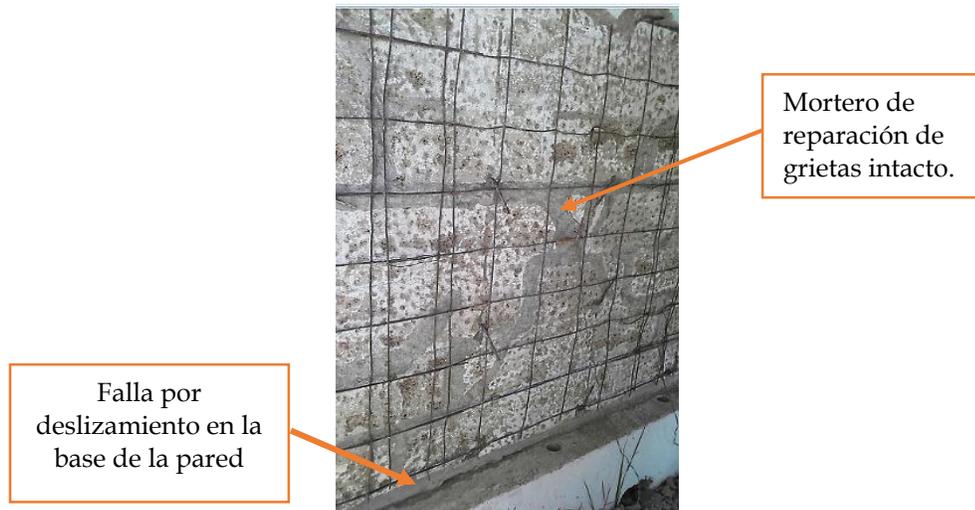
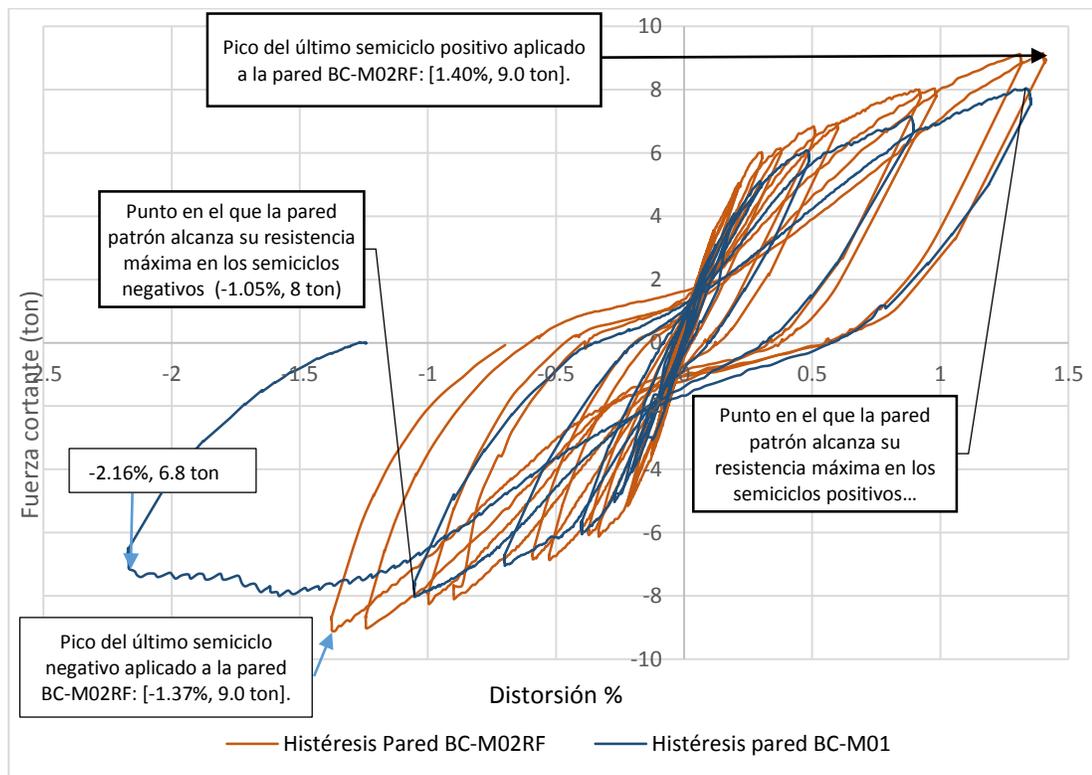


Figura 7.3: Estado final del daño pared BC-M02RF.

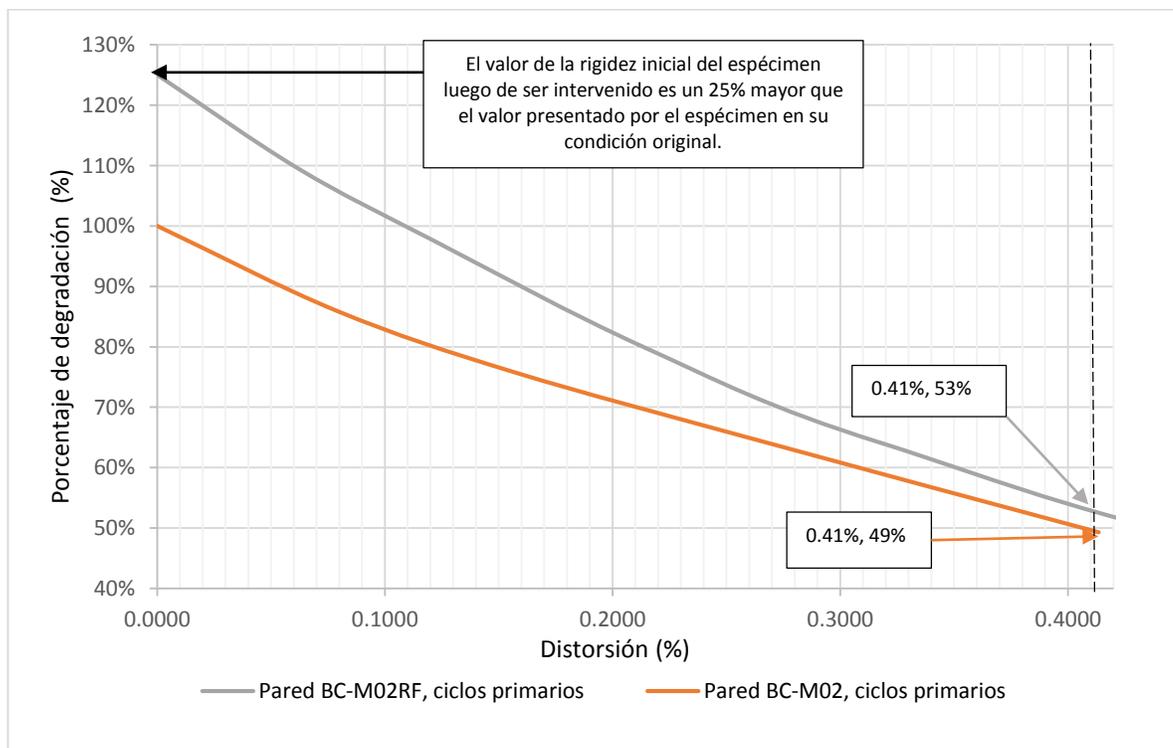
- Con los datos experimentales se observó que la malla electro soldada absorbe grandes esfuerzos de tensión y compresión, especialmente en los alambres verticales de los extremos de la pared, los cuales registraron valores de hasta el 50% del esfuerzo de fluencia. Sin embargo, a pesar de lo anterior, para fines de diseño no se considera el aporte de los alambres verticales a la resistencia de cargas laterales.
- Debido al tipo de falla que se presentó en la pared y por la seguridad de la instrumentación utilizada durante el ensayo, no fue posible determinar el aporte total de la malla electro soldada a la resistencia a cargas laterales.
- La respuesta de la pared que fue intervenida con la técnica del encamisado con malla electro soldada fue muy satisfactoria, resistiendo grandes

deformaciones inelásticas. Llegando a valores de distorsión de 1.40% en los semiciclos positivos y de 1.37% en los negativos (Gráfica 7.3). Pero por garantizar la seguridad de la instrumentación, la cual se vio comprometida en el último ciclo de aplicación de carga, la pared BC-M02RF no fue capaz de alcanzar la distorsión máxima presentada por la pared patrón (-2.16%). En cuanto a la resistencia alcanzada por la pared intervenida, se observó que a pesar de no haber llegado a la carga máxima que esta podía soportar, si se superó la resistencia máxima de la pared patrón (8 ton), llegando a resistir 9 ton en el último ciclo aplicado, demostrando un incremento en la capacidad del espécimen en términos de resistencia.



Gráfica 7.3: Superposición de curvas histeréticas de los especímenes BC-M01 y BC-M02RF.

- El comportamiento de la pared reforzada fue satisfactorio, pasando de una rigidez remanente de 41 % cuando se encontraba en un nivel de daño moderado a 125% después de intervenida. El aumento en la rigidez de la pared se atribuye al incremento de su sección transversal, al adicionar en cada cara de la pared una capa de mortero de 1.5 cm de espesor. La degradación de la rigidez del sistema se debió principalmente a los desplazamientos laterales, provocados por la falla en la base de la mampostería y no a las deformaciones de la pared como tal (Gráfica 7.4).



Gráfica 7.4: Superposición de las curvas de degradación de rigidez de los especímenes BC-M02 y BC-M02RF.

- La utilización de malla electro soldada en la intervención estructural de paredes de mampostería reforzada, permite obtener mayor resistencia y rigidez del elemento estructural además de evitar una falla frágil producto de esfuerzos inducidos por cargas laterales.
- En el costo de intervención el número de grietas tiene poca influencia ya que el material de relleno utilizado es un mortero tipo M, el cual comparado con la malla electro soldada tienen poca influencia, sin embargo, este costo podría reducirse con un diseño ajustado. Del análisis de costos a una pared sin huecos de puerta ni ventanas, con relación de aspecto igual a la unidad y con un nivel de daño moderado, se obtuvo un costo directo incluyendo IVA de \$ 52.83/m².
- En la técnica del encamisado con malla electro soldada se observó a través de los rendimientos obtenidos del proceso de intervención de la pared BC-M02RF, que aproximadamente el 50% del tiempo total de la intervención fue requerido para la reparación de las grietas. Estos rendimientos fueron obtenidos para una pared con relación de aspecto igual a la unidad y bajo un nivel de daño moderado, por lo que no pueden considerarse como definitivos.

7.1.8 Conclusión general

- En general se observa que es factible la reparación mediante la técnica del parcheo estructural en paredes de mampostería reforzada sin sustituciones o mejoras extensas, cuando estas se encuentren hasta un nivel de daño

moderado. El cual se puede identificar con el inicio de pequeños aplastamientos en los extremos inferiores de la pared o pequeñas grietas verticales. En cuanto a la intervención con la técnica del encamisado con malla electro soldada se observó que bajo un nivel de daño moderado, esta técnica resulta muy satisfactoria en la recuperación y aumento de las propiedades mecánicas del elemento estructural, inclusive la “Norma para la Evaluación del Nivel de Daño por Sismo en Estructuras y Guía Técnica de Rehabilitación” [México, 2001], establece que la intervención de elementos estructurales con esta técnica, es viable realizarla aún en un nivel de daño grave, en el cual se ha afectado considerablemente las propiedades mecánicas de los componentes y son necesarias sustituciones o mejoras extensas.

7.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar las pruebas correspondientes a los materiales individuales, así como en conjunto (prismas a compresión simple y prismas a compresión diagonal), esto con el fin de obtener parámetros propios, representativos y que reflejen las condiciones reales del sistema constructivo, lo cual conlleva a diseños estructurales más refinados y apegados a las características de los materiales y componentes.
- Los resultados obtenidos son válidos para las condiciones mostradas en esta investigación. Con la intención de ampliar los conocimientos sobre la

efectividad de las técnicas estudiadas, se recomienda realizar nuevos estudios considerando lo siguiente:

- Emplear especímenes con relaciones de aspecto diferentes al utilizado en este trabajo, así como variaciones en la cuantilla del acero de refuerzo, ya que son factores que influye en el comportamiento de las paredes.
 - Estudiar el comportamiento estructural fuera del plano de paredes intervenidas con estas técnicas.
 - Estudiar el comportamiento estructural de paredes intervenidas con estas técnicas bajo diferentes condiciones de servicio.
 - Considerar especímenes con huecos de puertas y ventanas para obtener datos que complementen los resultados de esta investigación.
 - Estudiar experimentalmente las técnicas de intervención en otros sistemas constructivos como: mampostería confinada, bloque panel, paredes de concreto.
- Se recomienda estudiar la técnica del encamisado con malla electro soldada aplicando capas de mortero con diferentes espesores y dosificaciones, buscando un equilibrio entre la efectividad de la técnica y el costo de la misma.
 - Cuando se utilice la técnica del encamisado con malla electro soldada para rehabilitar una vivienda, se recomienda considerar el porcentaje de aumento de rigidez en las paredes que se intervengan, ya que si la rigidez de estas es considerablemente superior a la que poseían previo al evento sísmico que las dañó, éstas absorberán una mayor demanda de esfuerzos cortantes ante una

nueva sollicitación dinámica, lo cual puede provocar excentricidades desfavorables a la estructura. Además, se debe tomar en cuenta el peso extra que aporta el encamisado, ya que este peso puede crear cambios en el centro de masas de cada nivel.

- En futuras investigaciones de la técnica del encamisado con malla electro soldada, se recomienda considerar el anclaje de la malla metálica a la base de la pared. Una forma de anclar la malla podría ser realizando perforaciones en la solera de fundación que permitan embeber los alambres verticales dentro del concreto, teniendo el cuidado de no afectar los orificios utilizados para el paso de los pernos que anclan la solera de fundación al marco de carga (en el caso de estudios experimentales a realizarse en el marco de carga de la Universidad de El Salvador ver Figura 7.4). La correcta unión entre los alambres de la malla y la solera de fundación se debe garantizar utilizando una resina Epóxica adecuada para este tipo de anclajes.

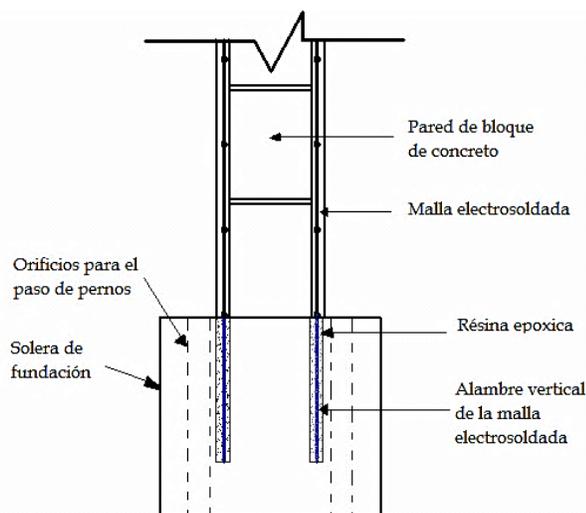


Figura 7.4: Anclaje de malla electro soldada a solera de fundación.

- Se recomienda que, para seleccionar la técnica de intervención en una estructura o elemento constituyente, un especialista determine a través de la evaluación de la estructura la solución más adecuada, según las condiciones que se presenten.
- Crear una normativa en el país que de lineamientos con sustento técnico a través de los cuales se regulen y estandaricen los materiales, procedimientos y procesos necesarios, para la intervención de estructuras dañadas por la acción de eventos sísmicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. *Ayala Antillón, A. A., Martínez Jiménez, J. J., & Trujillo Peraza, J. A. (2012). Estudio experimental del comportamiento estructural en el plano, de la mampostería de bloque de concreto con refuerzo integral, bajo diferentes condiciones de servicio. San Salvador: UES*
2. *TAISHIN, Manual de buenas prácticas para la construcción de una vivienda con bloques de concreto. El Salvador*
3. *Salazar Claros, C. R, Valencia Mármol, J. D, Vigil Nolasco, J. J, (2014), Métodos de reparación en edificaciones de bloque de concreto con refuerzo integral. San Salvador: UCA*
4. *Merino Urrutia, J. V, Rivera Mejía, R. A, Villalobos Amaya, I. A, (2016) Reparación de Viviendas de Bloque de Concreto Mediante el Método del Parcheo Estructural, San Salvador: UCA*
5. *FEMA, A. T. (2012). Seismic Performance Assessments of buildings FEMA P-58.*
6. *Ramírez de alba, H., Carreón Guardado, B.B, (2002). Reparación y refuerzo de muros de mampostería de tabique de arcilla para vivienda de bajo costo". México.*
7. *Ruiz, Zepeda, Alcocer, Meli, (1995.). "reparación y refuerzo de una estructura tridimensional de mampostería confinada de dos niveles a escala natural". México*

8. Profesor frieder seible “*structural rehabilitation with advanced composites*”, San Diego, USA. university of California,
9. FEMA, A. T. (1999). *Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings. Basic procedures manual*. FEMA 306.
10. FEMA, A. T. (1997), “*nehrp guidelines for the seismic rehabilitation of buildings,*” FEMA 273.
11. Luis Pérez, (2015). “*modelo experimental de la resistencia a cortante de muro de mampostería reforzada con mallas metálicas*”.
12. ASTM C566: “*Método de Ensayo Estándar para Medir el Contenido Total de Humedad Evaporable en Agregados Mediante Secado*”. ASTM Standards in building codes.
13. ASTM C128: “*Método de Ensayo Estándar para Densidad, Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos*”. ASTM Standards in building codes.
14. ASTM C29: “*Método de Ensayo Estándar para Densidad Bulk y Vacíos en los Agregados*”. ASTM Standards in building codes.
15. ASTM C136: “*Método de Ensayo Estándar para Análisis por Tamiz de Agregados Gruesos y Finos*”. ASTM Standards in building codes.
16. ASTM C566: “*Método de Ensayo Estándar para Medir el Contenido Total de Humedad Evaporable en Agregados Mediante Secado*”. ASTM Standards in building codes.

17. ASTM C127: *“Método de Ensayo Estándar para Densidad, Gravedad Específica y Absorción de Agregados Gruesos”*. ASTM Standards in building codes.
18. ASTM C29: *“Método de Ensayo Estándar para Densidad Bulk y Vacíos en los Agregados”*. ASTM Standards in building codes.
19. ASTM C 188: *“Método de Ensayo Estándar para Gravedad Específica del Cemento”*. ASTM Standards in building codes.
20. ASTM C39: *“Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto”*. ASTM Standards in building codes.
21. ASTM C 1019: *“Método de Ensayo Estándar para el Muestreo y Ensayo del Grout”*. ASTM Standards in building codes.
22. ASTM C1437: *“Método de Ensayo Estándar para la Fluidéz del Mortero de Cemento Hidráulico”*. ASTM Standards in building codes.
23. ASTM C109: *“Método de Ensayo para Resistencia a la Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico”*. ASTM Standards in building codes.
24. ASTM A370: *“Método de Ensayo Estándar y Definiciones para Ensayos Mecánicos de Productos de Acero”*. ASTM Standards in building codes.
25. ASTM C140: *“Método de Ensayo Estándar para el Muestreo y Ensayos a Bloques de Concreto y Unidades Relacionadas”*. ASTM Standards in building codes.

26. ASTM C881: "Sistema de Base de Adhesión de Resina Epóxica para Concreto" *ASTM Standards in building codes*.
27. ASTM A185: "Especificación Normalizada para Refuerzo Electrosoldado de Alambre de Acero Liso, para Concreto. *ASTM Standards in building codes*.
28. Comité ACI 530.1: "Especificaciones Para Estructuras de Mampostería". *American Concrete Institute*.
29. Norma Técnica para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería de El Salvador (1994).
30. NTCM-RCDF (2004) "Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de Estructuras de Mampostería, Reglamento de Construcciones del Distrito Federal", *Gaceta Oficial del Distrito Federal*.
31. NMX-C-415 (2002). "Norma Técnica para la Determinación de la Resistencia a Compresión y del Módulo de Elasticidad de Pilas de Mampostería de Barro y de Concreto. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*.
32. NMX-C-62 416 (2002). Norma Técnica para la Determinación de la Resistencia a Compresión Diagonal y de la Rigidez a Cortante de Muretes de Mampostería de Barro y de Concreto. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*.
33. http://www.preventionweb.net/files/7661_ManualdecasasdemamposteriaAISredpart2.pdf (Consulta: 27 de noviembre de 2015).

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO A. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES Y COMPONENTES DE LA MAMPOSTERÍA

En la presente sección se anexan los resultados de los ensayos realizados, para el control de calidad de los materiales y componentes utilizados en la construcción de las paredes de mampostería reforzada.

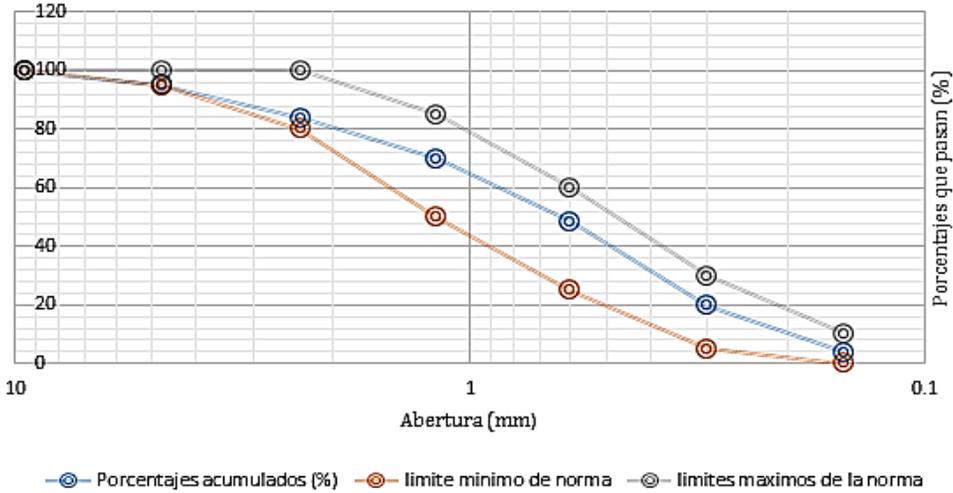
A-1 Control de calidad del agregado fino

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"																																			
			<i>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA EL PORCENTAJE DE HUMEDAD EN LOS AGREGADOS FINOS.</i>	<i>Anexo</i>	<i>A-1.1</i>																															
			<i>Norma aplicada</i>	<i>ASTM C566</i>																																
			<i>Hoja</i>	<i>1/1</i>																																
			<i>Fecha de ensayo:</i>	<i>04/04/2016</i>																																
<p><i>Datos y resultados del ensayo:</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Ensayo N°</i></th> <th><i>1</i></th> <th><i>2</i></th> <th><i>3</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>Peso de tara (g)</i></td> <td><i>138.7</i></td> <td><i>125.61</i></td> <td><i>115.32</i></td> </tr> <tr> <td><i>Peso de tara + arena húmeda (g)</i></td> <td><i>287.75</i></td> <td><i>288.11</i></td> <td><i>296.12</i></td> </tr> <tr> <td><i>Peso de tara + arena seca (g)</i></td> <td><i>285.58</i></td> <td><i>285.8</i></td> <td><i>293.5</i></td> </tr> <tr> <td><i>Peso de arena húmeda (g)</i></td> <td><i>149.05</i></td> <td><i>162.5</i></td> <td><i>180.8</i></td> </tr> <tr> <td><i>Peso de arena seca (g)</i></td> <td><i>146.88</i></td> <td><i>160.19</i></td> <td><i>178.18</i></td> </tr> <tr> <td><i>Porcentaje de humedad (%)</i></td> <td><i>1.46</i></td> <td><i>1.42</i></td> <td><i>1.45</i></td> </tr> <tr> <td><i>Promedio de porcentajes de humedad (%)</i></td> <td colspan="3" style="text-align: center;"><i>1.44</i></td> </tr> </tbody> </table>					<i>Ensayo N°</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>Peso de tara (g)</i>	<i>138.7</i>	<i>125.61</i>	<i>115.32</i>	<i>Peso de tara + arena húmeda (g)</i>	<i>287.75</i>	<i>288.11</i>	<i>296.12</i>	<i>Peso de tara + arena seca (g)</i>	<i>285.58</i>	<i>285.8</i>	<i>293.5</i>	<i>Peso de arena húmeda (g)</i>	<i>149.05</i>	<i>162.5</i>	<i>180.8</i>	<i>Peso de arena seca (g)</i>	<i>146.88</i>	<i>160.19</i>	<i>178.18</i>	<i>Porcentaje de humedad (%)</i>	<i>1.46</i>	<i>1.42</i>	<i>1.45</i>	<i>Promedio de porcentajes de humedad (%)</i>	<i>1.44</i>		
<i>Ensayo N°</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>																																	
<i>Peso de tara (g)</i>	<i>138.7</i>	<i>125.61</i>	<i>115.32</i>																																	
<i>Peso de tara + arena húmeda (g)</i>	<i>287.75</i>	<i>288.11</i>	<i>296.12</i>																																	
<i>Peso de tara + arena seca (g)</i>	<i>285.58</i>	<i>285.8</i>	<i>293.5</i>																																	
<i>Peso de arena húmeda (g)</i>	<i>149.05</i>	<i>162.5</i>	<i>180.8</i>																																	
<i>Peso de arena seca (g)</i>	<i>146.88</i>	<i>160.19</i>	<i>178.18</i>																																	
<i>Porcentaje de humedad (%)</i>	<i>1.46</i>	<i>1.42</i>	<i>1.45</i>																																	
<i>Promedio de porcentajes de humedad (%)</i>	<i>1.44</i>																																			
<p><i>Observaciones:</i> _____</p>																																				

	<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p>																																									
<p>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS</p>	<p>Anexo</p>	<p>A-1.2</p>																																								
	<p>Norma aplicada</p>	<p>ASTM C128-07a</p>																																								
	<p>Hoja</p>	<p>1/1</p>																																								
	<p>Fecha de ensayo:</p>	<p>05/04/2016</p>																																								
<p>Datos y resultados del ensayo:</p> <table border="1" data-bbox="349 955 1429 1291"> <thead> <tr> <th>Ensayo N°</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de tara (g)</td> <td>138.7</td> <td>125.61</td> <td>115.32</td> <td>140.2</td> </tr> <tr> <td>Peso de tara + muestra saturada superficialmente seca (g)</td> <td>639.5</td> <td>625.61</td> <td>614.62</td> <td>639.5</td> </tr> <tr> <td>Peso de tara + muestra secada al horno (g)</td> <td>620</td> <td>607.51</td> <td>596.92</td> <td>621.9</td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra saturada, superficialmente seca (g)</td> <td>500.8</td> <td>500</td> <td>499.3</td> <td>499.3</td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra secada al horno (g)</td> <td>481.3</td> <td>481.9</td> <td>481.6</td> <td>481.7</td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de absorción (%)</td> <td>4.05</td> <td>3.76</td> <td>3.68</td> <td>3.65</td> </tr> <tr> <td>Promedio de porcentajes de absorción (%)</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">3.78</td> </tr> </tbody> </table> <p>Observaciones: _____</p>			Ensayo N°	1	2	3	4	Peso de tara (g)	138.7	125.61	115.32	140.2	Peso de tara + muestra saturada superficialmente seca (g)	639.5	625.61	614.62	639.5	Peso de tara + muestra secada al horno (g)	620	607.51	596.92	621.9	Peso de la muestra saturada, superficialmente seca (g)	500.8	500	499.3	499.3	Peso de la muestra secada al horno (g)	481.3	481.9	481.6	481.7	Porcentaje de absorción (%)	4.05	3.76	3.68	3.65	Promedio de porcentajes de absorción (%)	3.78			
Ensayo N°	1	2	3	4																																						
Peso de tara (g)	138.7	125.61	115.32	140.2																																						
Peso de tara + muestra saturada superficialmente seca (g)	639.5	625.61	614.62	639.5																																						
Peso de tara + muestra secada al horno (g)	620	607.51	596.92	621.9																																						
Peso de la muestra saturada, superficialmente seca (g)	500.8	500	499.3	499.3																																						
Peso de la muestra secada al horno (g)	481.3	481.9	481.6	481.7																																						
Porcentaje de absorción (%)	4.05	3.76	3.68	3.65																																						
Promedio de porcentajes de absorción (%)	3.78																																									

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"																																																				
	INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADOS FINOS	Anexo Norma aplicada Hoja Fecha de ensayo:		A-1.3 ASTM C128-07a 1/1 06/04/2016																																																	
<p><i>Datos y resultados del ensayo:</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ensayo N°</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de tara (g)</td> <td>138.7</td> <td>125.61</td> <td>115.32</td> <td>140.2</td> </tr> <tr> <td>Peso de tara + muestra secada al horno (g)</td> <td>620</td> <td>607.51</td> <td>596.92</td> <td>621.9</td> </tr> <tr> <td>Peso de tara + muestra saturada superficialmente seca (g)</td> <td>639.5</td> <td>625.61</td> <td>614.62</td> <td>639.5</td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra secada al horno (g)</td> <td>481.3</td> <td>481.9</td> <td>481.6</td> <td>481.7</td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra saturada superficialmente seca (g)</td> <td>500.8</td> <td>500</td> <td>499.3</td> <td>501.3</td> </tr> <tr> <td>Peso del picnómetro + agua (g)</td> <td>1475.5</td> <td>1447.9</td> <td>1450</td> <td>1478.8</td> </tr> <tr> <td>Peso del picnómetro + agua + arena (g)</td> <td>1775.9</td> <td>1746.5</td> <td>1750.3</td> <td>1781.2</td> </tr> <tr> <td>Gravedad especifica seca</td> <td>2.40</td> <td>2.39</td> <td>2.42</td> <td>2.42</td> </tr> <tr> <td>Gravedad especifica seca promedio</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">2.41</td> </tr> </tbody> </table>				Ensayo N°	1	2	3	4	Peso de tara (g)	138.7	125.61	115.32	140.2	Peso de tara + muestra secada al horno (g)	620	607.51	596.92	621.9	Peso de tara + muestra saturada superficialmente seca (g)	639.5	625.61	614.62	639.5	Peso de la muestra secada al horno (g)	481.3	481.9	481.6	481.7	Peso de la muestra saturada superficialmente seca (g)	500.8	500	499.3	501.3	Peso del picnómetro + agua (g)	1475.5	1447.9	1450	1478.8	Peso del picnómetro + agua + arena (g)	1775.9	1746.5	1750.3	1781.2	Gravedad especifica seca	2.40	2.39	2.42	2.42	Gravedad especifica seca promedio	2.41			
Ensayo N°	1	2	3	4																																																	
Peso de tara (g)	138.7	125.61	115.32	140.2																																																	
Peso de tara + muestra secada al horno (g)	620	607.51	596.92	621.9																																																	
Peso de tara + muestra saturada superficialmente seca (g)	639.5	625.61	614.62	639.5																																																	
Peso de la muestra secada al horno (g)	481.3	481.9	481.6	481.7																																																	
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (g)	500.8	500	499.3	501.3																																																	
Peso del picnómetro + agua (g)	1475.5	1447.9	1450	1478.8																																																	
Peso del picnómetro + agua + arena (g)	1775.9	1746.5	1750.3	1781.2																																																	
Gravedad especifica seca	2.40	2.39	2.42	2.42																																																	
Gravedad especifica seca promedio	2.41																																																				
<p><i>Observaciones:</i> _____</p>																																																					

	<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p>																																				
<p>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA EL PESO VOLUMÉTRICO SUELTO EN LOS AGREGADOS FINOS.</p>	<p>Anexo</p>	<p>A-1.4</p>																																			
	<p>Norma aplicada</p>	<p>ASTM C29/C29M-09</p>																																			
	<p>Hoja</p>	<p>1/1</p>																																			
	<p>Fecha de ensayo:</p>	<p>06/04/2016</p>																																			
<p>Datos y resultados del ensayo:</p> <table border="1" data-bbox="397 997 1380 1281"> <thead> <tr> <th>Ensayo N°</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso del medidor (Kg)</td> <td>2.846</td> <td>2.846</td> <td>2.846</td> <td>2.846</td> </tr> <tr> <td>Peso del medidor + Grava húmeda (Kg)</td> <td>7.115</td> <td>7.18</td> <td>7.164</td> <td>7.198</td> </tr> <tr> <td>Peso de Grava húmeda(Kg)</td> <td>4.269</td> <td>4.334</td> <td>4.318</td> <td>4.352</td> </tr> <tr> <td>Volumen del medidor (m3)</td> <td>0.00299</td> <td>0.00299</td> <td>0.00299</td> <td>0.00299</td> </tr> <tr> <td>Peso volumétrico suelto (kg/m3)</td> <td>1427.76</td> <td>1449.50</td> <td>1444.15</td> <td>1455.52</td> </tr> <tr> <td>Peso volumétrico suelto promedio (kg/m3)</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">1440</td> </tr> </tbody> </table> <p>Observaciones: _____</p>			Ensayo N°	1	2	3	4	Peso del medidor (Kg)	2.846	2.846	2.846	2.846	Peso del medidor + Grava húmeda (Kg)	7.115	7.18	7.164	7.198	Peso de Grava húmeda(Kg)	4.269	4.334	4.318	4.352	Volumen del medidor (m3)	0.00299	0.00299	0.00299	0.00299	Peso volumétrico suelto (kg/m3)	1427.76	1449.50	1444.15	1455.52	Peso volumétrico suelto promedio (kg/m3)	1440			
Ensayo N°	1	2	3	4																																	
Peso del medidor (Kg)	2.846	2.846	2.846	2.846																																	
Peso del medidor + Grava húmeda (Kg)	7.115	7.18	7.164	7.198																																	
Peso de Grava húmeda(Kg)	4.269	4.334	4.318	4.352																																	
Volumen del medidor (m3)	0.00299	0.00299	0.00299	0.00299																																	
Peso volumétrico suelto (kg/m3)	1427.76	1449.50	1444.15	1455.52																																	
Peso volumétrico suelto promedio (kg/m3)	1440																																				

	<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p>																																																										
<p>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS.</p>		<p>Anexo A-1.5 Norma aplicada ASTM C136 Hoja 1/1 Fecha de ensayo: 07/04/2016</p>																																																									
<p>Datos y resultados del ensayo:</p>																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>aberturas (mm)</th> <th>Porcentajes retenidos acumulados (%)</th> <th>porcentajes que pasan</th> <th>límite mínimo de norma</th> <th>límites máximos de la norma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/8"</td> <td>9.5</td> <td>0.3</td> <td>99.7</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>#4</td> <td>4.75</td> <td>4.9</td> <td>95.1</td> <td>95</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>#8</td> <td>2.36</td> <td>16.2</td> <td>83.8</td> <td>80</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>#16</td> <td>1.18</td> <td>30.2</td> <td>69.8</td> <td>50</td> <td>85</td> </tr> <tr> <td>#30</td> <td>0.6</td> <td>51.6</td> <td>48.4</td> <td>25</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>#50</td> <td>0.3</td> <td>80.3</td> <td>19.7</td> <td>5</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>#100</td> <td>0.15</td> <td>96.1</td> <td>3.9</td> <td>0</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>PASA #100</td> <td></td> <td>100</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Tamiz	aberturas (mm)	Porcentajes retenidos acumulados (%)	porcentajes que pasan	límite mínimo de norma	límites máximos de la norma	3/8"	9.5	0.3	99.7	100	100	#4	4.75	4.9	95.1	95	100	#8	2.36	16.2	83.8	80	100	#16	1.18	30.2	69.8	50	85	#30	0.6	51.6	48.4	25	60	#50	0.3	80.3	19.7	5	30	#100	0.15	96.1	3.9	0	10	PASA #100		100	0							
Tamiz	aberturas (mm)	Porcentajes retenidos acumulados (%)	porcentajes que pasan	límite mínimo de norma	límites máximos de la norma																																																						
3/8"	9.5	0.3	99.7	100	100																																																						
#4	4.75	4.9	95.1	95	100																																																						
#8	2.36	16.2	83.8	80	100																																																						
#16	1.18	30.2	69.8	50	85																																																						
#30	0.6	51.6	48.4	25	60																																																						
#50	0.3	80.3	19.7	5	30																																																						
#100	0.15	96.1	3.9	0	10																																																						
PASA #100		100	0																																																								
<p>Curva granulometrica</p>																																																											
 <p>—●— Porcentajes acumulados (%) —●— limite minimo de norma —●— limites maximos de la norma</p>																																																											
<p>Módulo de finura = 2.8</p>																																																											
<p>Observaciones: _____</p>																																																											

A-2 Control de calidad del agregado grueso

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"																																		
INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA EL PORCENTAJE DE HUMEDAD EN LOS AGREGADOS GRUESOS	<i>Anexo</i>	A-2.1																																	
	<i>Norma aplicada</i>	ASTM C566																																	
	<i>Hoja</i>	1/1																																	
	<i>Fecha de ensayo:</i>	04/04/2016																																	
<p><i>Datos y resultados del ensayo:</i></p>																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ensayo N°</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de tara (g)</td> <td>223.48</td> <td>215.6</td> <td>235.91</td> </tr> <tr> <td>Peso de tara + Grava húmeda (g)</td> <td>2710.3</td> <td>2732.72</td> <td>2707.43</td> </tr> <tr> <td>Peso de tara + Grava seca (g)</td> <td>2656.5</td> <td>2684.4</td> <td>2643.1</td> </tr> <tr> <td>Peso de grava húmeda (g)</td> <td>2486.82</td> <td>2517.12</td> <td>2471.52</td> </tr> <tr> <td>Peso de grava seca (g)</td> <td>2433.02</td> <td>2468.80</td> <td>2407.19</td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de humedad (%)</td> <td>2.16</td> <td>1.92</td> <td>2.60</td> </tr> <tr> <td>Promedio de porcentajes de humedad (%)</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">2.23</td> </tr> </tbody> </table>	Ensayo N°	1	2	3	Peso de tara (g)	223.48	215.6	235.91	Peso de tara + Grava húmeda (g)	2710.3	2732.72	2707.43	Peso de tara + Grava seca (g)	2656.5	2684.4	2643.1	Peso de grava húmeda (g)	2486.82	2517.12	2471.52	Peso de grava seca (g)	2433.02	2468.80	2407.19	Porcentaje de humedad (%)	2.16	1.92	2.60	Promedio de porcentajes de humedad (%)	2.23					
Ensayo N°	1	2	3																																
Peso de tara (g)	223.48	215.6	235.91																																
Peso de tara + Grava húmeda (g)	2710.3	2732.72	2707.43																																
Peso de tara + Grava seca (g)	2656.5	2684.4	2643.1																																
Peso de grava húmeda (g)	2486.82	2517.12	2471.52																																
Peso de grava seca (g)	2433.02	2468.80	2407.19																																
Porcentaje de humedad (%)	2.16	1.92	2.60																																
Promedio de porcentajes de humedad (%)	2.23																																		
<p><i>Observaciones:</i> _____</p>																																			

	<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p>																																		
<p>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA EL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN EN LOS AGREGADOS GRUESOS.</p>	<p>Anexo</p>	<p>A-2.2</p>																																	
	<p>Norma aplicada</p>	<p>ASTM C127-07</p>																																	
	<p>Hoja</p>	<p>1/1</p>																																	
	<p>Fecha de ensayo:</p>	<p>05/04/2016</p>																																	
<p>Datos y resultados del ensayo:</p>																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ensayo N°</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de tara (g)</td> <td>190.5</td> <td>175.11</td> <td>180.56</td> </tr> <tr> <td>Peso de tara + Grava saturada superficialmente seca (g)</td> <td>3417.3</td> <td>3432.31</td> <td>3456.46</td> </tr> <tr> <td>Peso de tara + Grava secada al horno (g)</td> <td>3349</td> <td>3370.4</td> <td>3390.1</td> </tr> <tr> <td>Peso de grava saturada superficialmente seca (g)</td> <td>3226.8</td> <td>3257.2</td> <td>3275.9</td> </tr> <tr> <td>Peso de grava secada al horno (g)</td> <td>3158.5</td> <td>3195.29</td> <td>3209.54</td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de absorción (%)</td> <td>2.16</td> <td>1.94</td> <td>2.07</td> </tr> <tr> <td>Promedio de porcentajes de absorción (%)</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">2.06</td> </tr> </tbody> </table>	Ensayo N°	1	2	3	Peso de tara (g)	190.5	175.11	180.56	Peso de tara + Grava saturada superficialmente seca (g)	3417.3	3432.31	3456.46	Peso de tara + Grava secada al horno (g)	3349	3370.4	3390.1	Peso de grava saturada superficialmente seca (g)	3226.8	3257.2	3275.9	Peso de grava secada al horno (g)	3158.5	3195.29	3209.54	Porcentaje de absorción (%)	2.16	1.94	2.07	Promedio de porcentajes de absorción (%)	2.06			<p>1</p>	<p>2</p>	<p>3</p>
Ensayo N°	1	2	3																																
Peso de tara (g)	190.5	175.11	180.56																																
Peso de tara + Grava saturada superficialmente seca (g)	3417.3	3432.31	3456.46																																
Peso de tara + Grava secada al horno (g)	3349	3370.4	3390.1																																
Peso de grava saturada superficialmente seca (g)	3226.8	3257.2	3275.9																																
Peso de grava secada al horno (g)	3158.5	3195.29	3209.54																																
Porcentaje de absorción (%)	2.16	1.94	2.07																																
Promedio de porcentajes de absorción (%)	2.06																																		
<p>Peso de tara (g)</p>	<p>190.5</p>	<p>175.11</p>	<p>180.56</p>																																
<p>Peso de tara + Grava saturada superficialmente seca (g)</p>	<p>3417.3</p>	<p>3432.31</p>	<p>3456.46</p>																																
<p>Peso de tara + Grava secada al horno (g)</p>	<p>3349</p>	<p>3370.4</p>	<p>3390.1</p>																																
<p>Peso de grava saturada superficialmente seca (g)</p>	<p>3226.8</p>	<p>3257.2</p>	<p>3275.9</p>																																
<p>Peso de grava secada al horno (g)</p>	<p>3158.5</p>	<p>3195.29</p>	<p>3209.54</p>																																
<p>Porcentaje de absorción (%)</p>	<p>2.16</p>	<p>1.94</p>	<p>2.07</p>																																
<p>Promedio de porcentajes de absorción (%)</p>	2.06																																		
<p>Observaciones: _____</p>																																			

	<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p>																													
<p>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA EL PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO SECO EN LOS AGREGADOS GRUESOS.</p>	<p>Anexo</p>	<p>A-2.3</p>																												
	<p>Norma aplicada</p>	<p>ASTM C29/C29M-09</p>																												
	<p>Hoja</p>	<p>1/1</p>																												
	<p>Fecha de ensayo:</p>	<p>08/04/2016</p>																												
<p>Datos y resultados del ensayo:</p> <table border="1" data-bbox="315 890 1463 1178"> <thead> <tr> <th>Ensayo N°</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso del medidor (Kg)</td> <td>8.7</td> <td>8.7</td> <td>8.7</td> </tr> <tr> <td>Peso del medidor + Grava seca (Kg)</td> <td>29.4</td> <td>28.6</td> <td>28.6</td> </tr> <tr> <td>Peso de Grava seca(Kg)</td> <td>20.7</td> <td>19.9</td> <td>19.9</td> </tr> <tr> <td>Volumen del medidor (m3)</td> <td>0.0139</td> <td>0.0139</td> <td>0.0139</td> </tr> <tr> <td>Peso volumétrico varillado seco (kg/m3)</td> <td>1489.21</td> <td>1431.65</td> <td>1431.65</td> </tr> <tr> <td>Peso volumétrico varillado seco promedio (kg/m3)</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">1450</td> </tr> </tbody> </table> <p>Observaciones: _____</p>			Ensayo N°	1	2	3	Peso del medidor (Kg)	8.7	8.7	8.7	Peso del medidor + Grava seca (Kg)	29.4	28.6	28.6	Peso de Grava seca(Kg)	20.7	19.9	19.9	Volumen del medidor (m3)	0.0139	0.0139	0.0139	Peso volumétrico varillado seco (kg/m3)	1489.21	1431.65	1431.65	Peso volumétrico varillado seco promedio (kg/m3)	1450		
Ensayo N°	1	2	3																											
Peso del medidor (Kg)	8.7	8.7	8.7																											
Peso del medidor + Grava seca (Kg)	29.4	28.6	28.6																											
Peso de Grava seca(Kg)	20.7	19.9	19.9																											
Volumen del medidor (m3)	0.0139	0.0139	0.0139																											
Peso volumétrico varillado seco (kg/m3)	1489.21	1431.65	1431.65																											
Peso volumétrico varillado seco promedio (kg/m3)	1450																													

	<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p>																														
<p>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA EL PESO VOLUMÉTRICO SUELTO EN LOS AGREGADOS GRUESOS.</p>	<p>Anexo</p>	<p>A-2.4</p>																													
	<p>Norma aplicada</p>	<p>ASTM C29/C29M-09</p>																													
	<p>Hoja</p>	<p>1/1</p>																													
	<p>Fecha de ensayo:</p>	<p>08/04/2016</p>																													
<p>Datos y resultados del ensayo:</p>																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ensayo N°</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso del medidor (Kg)</td> <td>8.7</td> <td>8.7</td> <td>8.7</td> </tr> <tr> <td>Peso del medidor + Grava húmeda (Kg)</td> <td>27.65</td> <td>27.85</td> <td>27.19</td> </tr> <tr> <td>Peso de Grava húmeda(Kg)</td> <td>18.95</td> <td>19.15</td> <td>18.49</td> </tr> <tr> <td>Volumen del medidor (m3)</td> <td>0.0139</td> <td>0.0139</td> <td>0.0139</td> </tr> <tr> <td>Peso volumétrico suelto (kg/m3)</td> <td>1363.31</td> <td>1377.70</td> <td>1330.22</td> </tr> <tr> <td>Peso volumétrico suelto promedio (kg/m3)</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">1360</td> </tr> </tbody> </table>	Ensayo N°	1	2	3	Peso del medidor (Kg)	8.7	8.7	8.7	Peso del medidor + Grava húmeda (Kg)	27.65	27.85	27.19	Peso de Grava húmeda(Kg)	18.95	19.15	18.49	Volumen del medidor (m3)	0.0139	0.0139	0.0139	Peso volumétrico suelto (kg/m3)	1363.31	1377.70	1330.22	Peso volumétrico suelto promedio (kg/m3)	1360					
Ensayo N°	1	2	3																												
Peso del medidor (Kg)	8.7	8.7	8.7																												
Peso del medidor + Grava húmeda (Kg)	27.65	27.85	27.19																												
Peso de Grava húmeda(Kg)	18.95	19.15	18.49																												
Volumen del medidor (m3)	0.0139	0.0139	0.0139																												
Peso volumétrico suelto (kg/m3)	1363.31	1377.70	1330.22																												
Peso volumétrico suelto promedio (kg/m3)	1360																														
<p>Observaciones: _____</p>																															

	<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p>																																						
<p>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA EN LOS AGREGADOS GRUESOS.</p>	<p>Anexo</p>	<p>A-2.5</p>																																					
	<p>Norma aplicada</p>	<p>ASTM C127-07</p>																																					
	<p>Hoja</p>	<p>1/1</p>																																					
	<p>Fecha de ensayo:</p>	<p>11/04/2016</p>																																					
<p>Datos y resultados del ensayo:</p>																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ensayo N°</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de tara (g)</td> <td>244.3</td> <td>260.3</td> <td>280.11</td> </tr> <tr> <td>Peso de tara + grava saturada superficialmente seca (g)</td> <td>3519.7</td> <td>3499.2</td> <td>3491.2</td> </tr> <tr> <td>Peso de grava saturada superficialmente seca (g)</td> <td>3275.4</td> <td>3238.9</td> <td>3211.09</td> </tr> <tr> <td>Peso aparente de la grava (g)</td> <td>2035.1</td> <td>2034.9</td> <td>2035.7</td> </tr> <tr> <td>Peso de tara + grava seca (g)</td> <td>3409.5</td> <td>3401.2</td> <td>3391.5</td> </tr> <tr> <td>Peso de grava seca (g)</td> <td>3165.2</td> <td>3140.9</td> <td>3111.39</td> </tr> <tr> <td>Gravedad especifica seca</td> <td>2.55</td> <td>2.61</td> <td>2.65</td> </tr> <tr> <td>Gravedad especifica seca promedio</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">2.60</td> </tr> </tbody> </table>	Ensayo N°	1	2	3	Peso de tara (g)	244.3	260.3	280.11	Peso de tara + grava saturada superficialmente seca (g)	3519.7	3499.2	3491.2	Peso de grava saturada superficialmente seca (g)	3275.4	3238.9	3211.09	Peso aparente de la grava (g)	2035.1	2034.9	2035.7	Peso de tara + grava seca (g)	3409.5	3401.2	3391.5	Peso de grava seca (g)	3165.2	3140.9	3111.39	Gravedad especifica seca	2.55	2.61	2.65	Gravedad especifica seca promedio	2.60			<p>1</p>	<p>2</p>	<p>3</p>
Ensayo N°	1	2	3																																				
Peso de tara (g)	244.3	260.3	280.11																																				
Peso de tara + grava saturada superficialmente seca (g)	3519.7	3499.2	3491.2																																				
Peso de grava saturada superficialmente seca (g)	3275.4	3238.9	3211.09																																				
Peso aparente de la grava (g)	2035.1	2034.9	2035.7																																				
Peso de tara + grava seca (g)	3409.5	3401.2	3391.5																																				
Peso de grava seca (g)	3165.2	3140.9	3111.39																																				
Gravedad especifica seca	2.55	2.61	2.65																																				
Gravedad especifica seca promedio	2.60																																						
<p>Peso de tara (g)</p>	<p>244.3</p>	<p>260.3</p>	<p>280.11</p>																																				
<p>Peso de tara + grava saturada superficialmente seca (g)</p>	<p>3519.7</p>	<p>3499.2</p>	<p>3491.2</p>																																				
<p>Peso de grava saturada superficialmente seca (g)</p>	<p>3275.4</p>	<p>3238.9</p>	<p>3211.09</p>																																				
<p>Peso aparente de la grava (g)</p>	<p>2035.1</p>	<p>2034.9</p>	<p>2035.7</p>																																				
<p>Peso de tara + grava seca (g)</p>	<p>3409.5</p>	<p>3401.2</p>	<p>3391.5</p>																																				
<p>Peso de grava seca (g)</p>	<p>3165.2</p>	<p>3140.9</p>	<p>3111.39</p>																																				
<p>Gravedad especifica seca</p>	<p>2.55</p>	<p>2.61</p>	<p>2.65</p>																																				
<p>Gravedad especifica seca promedio</p>	<p>2.60</p>																																						
<p>Observaciones: _____</p>																																							

A-3 Control de calidad del Cemento

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"																																	
INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO.	Anexo	A-3.1																																
	Norma aplicada	ASTM C188-95 (Re-aprobada en 2003)																																
	Hoja	1/1																																
	Fecha de ensayo:	12/04/2016																																
<p>Datos y resultados del ensayo:</p> <table border="1" data-bbox="349 955 1421 1291"> <thead> <tr> <th>Ensayo N°</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso del cemento utilizado (g)</td> <td>64</td> <td>64</td> <td>64</td> </tr> <tr> <td>Volumen inicial (cm³)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Volumen final (cm³)</td> <td>22.2</td> <td>22.1</td> <td>22.3</td> </tr> <tr> <td>Volumen desplazado (cm³)</td> <td>22.2</td> <td>22.1</td> <td>22.3</td> </tr> <tr> <td>Densidad del cemento (g/ cm³)</td> <td>2.88</td> <td>2.88</td> <td>2.87</td> </tr> <tr> <td>Gravedad específica del cemento (g/ cm³)</td> <td>1.46</td> <td>1.42</td> <td>1.45</td> </tr> <tr> <td>Gravedad específica del cemento promedio (g/ cm³)</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">2.9</td> </tr> </tbody> </table> <p>Observaciones: _____</p>			Ensayo N°	1	2	3	Peso del cemento utilizado (g)	64	64	64	Volumen inicial (cm ³)	0	0	0	Volumen final (cm ³)	22.2	22.1	22.3	Volumen desplazado (cm ³)	22.2	22.1	22.3	Densidad del cemento (g/ cm ³)	2.88	2.88	2.87	Gravedad específica del cemento (g/ cm ³)	1.46	1.42	1.45	Gravedad específica del cemento promedio (g/ cm ³)	2.9		
Ensayo N°	1	2	3																															
Peso del cemento utilizado (g)	64	64	64																															
Volumen inicial (cm ³)	0	0	0																															
Volumen final (cm ³)	22.2	22.1	22.3																															
Volumen desplazado (cm ³)	22.2	22.1	22.3																															
Densidad del cemento (g/ cm ³)	2.88	2.88	2.87																															
Gravedad específica del cemento (g/ cm ³)	1.46	1.42	1.45																															
Gravedad específica del cemento promedio (g/ cm ³)	2.9																																	

A-4 Control de calidad del concreto

Para comprobar la capacidad de resistencia a la compresión del concreto diseñado según el ACI 211.1, se fabricaron 4 cilindros de prueba. El procedimiento para la preparación del concreto y la hechura de los cilindros fue según lo planteado en ASTM C 192.

Los resultados obtenidos se describen a continuación:

		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"										
INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO.								Anexo		A-4.1		
								Norma aplicada		ASTM C39		
								Hoja		1/2		
								Fecha de ensayo:		Abril-Mayo/2016		
Datos y resultados del ensayo:												
"ESTUDIO EXPERIMENTAL DE DOS TÉCNICAS DE INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL APLICADAS EN MAMPOSTERÍA REFORZADA"												
Especimen N°	Fecha de ensayo	Edad (días)	Díámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Reso. (g)	Densidad (kg/m ³)	Carga de falla (kg)	Resistencia a Compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Desv. Están	C.V. (%)
EC-1	29/04	7	15.21	29.11	181.70	12485	2360.00	30250	166.49	170.13	5.15	3.03
EC-2	29/04	7	15.12	29.09	179.55	12342	2360.00	31200	173.76			
Observaciones: _____												

		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"										
INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO.									Anexo		A-4.1	
									Norma aplicada		ASTM C39	
									Hoja		2/2	
									Fecha de ensayo:		Mayo/2016	
Datos y resultados del ensayo:												
Espécimen N°	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Peso (g)	Densidad (kg/m ³)	Carga de falla (kg)	Resistencia a Compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Desv. Están	C.V. (%)
EC-1	19/05	28	15.25	29.16	182.65	12748	2390.00	42000	229.94	234.73	6.77	2.89
EC-2	19/05	28	15.25	28.15	182.65	12120	2360.00	43750	239.52			
Resistencia de diseño: <u>210 kg/cm²</u> Resistencia mínima a 28 días para un ensayo, según el comité ACI 318: <u>174 kg/cm²</u> Observaciones: _____												



Figura A-4.1.1: Resistencia a la compresión del concreto, 7 días.



Figura A-4.1.2: Resistencia a la compresión del concreto, 28 días.

A-5 Control de calidad del concreto fluido (Grout).

		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"											
INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL GROUT.									Anexo		A-5.1		
									Norma aplicada		ASTM C1019-03		
									Hoja		1/1		
									Fecha de ensayo:		Abril-Mayo/2016		
Datos y resultados del ensayo: Proporción seleccionada: 1: 2.5: 2 (Ver Tabla 3.4, capítulo 3)													
Espécimen N°	Fecha de ensayo	Edad (días)	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Peso (g)	Densidad (kg/m ³)	Carga de falla (kg)	Resistencia a Compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Desv. Están	C.V. (%)
EG-1	29/04	7	11.2	10.4	19.00	116.48	4206.00	1900.00	8750.00	75.12	75.12	-	-
Espécimen N°	Fecha de ensayo	Edad (días)	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Peso (g)	Densidad (kg/m ³)	Carga de falla (kg)	Resistencia a Compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Desv. Están	C.V. (%)
EG-2	20/05	28	10.72	10.7	19.00	114.70 4	4363.00	2000.00	14000.00	122.05	116.29	8.16	7.01
EG-3	20/05	28	11.63	11.6	19.00	134.90 8	4910.00	1920.00	14910.00	110.52			
Resistencia mínima para el grout a 28 días según ASTM C476: <u>140 kg/cm²</u> Observaciones: _____													



Figura A-5.1.1: Elaboración de prismas de Grout.

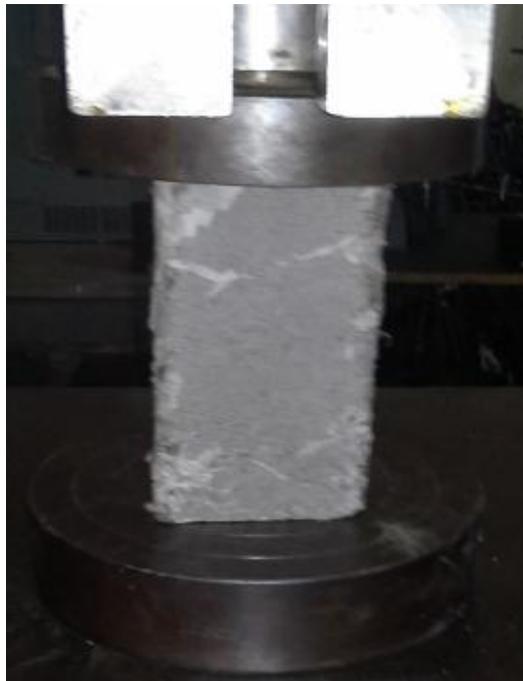


Figura A-5.1.2: Resistencia a la compresión de prismas de Grout.

A-6 Control de calidad del mortero.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"															
INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA FLUIDEZ DEL MORTERO.	<i>Anexo</i>	A-6.1														
	<i>Norma aplicada</i>	ASTM C1437-07														
	<i>Hoja</i>	1/1														
	<i>Fecha de ensayo:</i>	13/04/2016														
<p><i>Datos y resultados del ensayo:</i></p> <p> <i>Tipo de mortero:</i> <u>S</u> <i>Resistencia mínima a la compresión:</i> <u>12.3 MPa</u> <i>Tipo de cemento:</i> <u>Cemento de albañilería, norma ASTM C91.</u> <i>Proporción seleccionada:</i> <u>1: 2.25 (ver Tabla 3.5 capítulo 3)</u> <i>Peso del cemento:</i> <u>736 g</u> <i>Peso de la arena:</i> <u>1165 g</u> <i>Relación agua/cemento:</i> <u>0.91</u> <i>Lectura inicial:</i> <u>10 cm</u> </p> <table border="1" data-bbox="483 1320 1292 1610"> <thead> <tr> <th><i>Lectura de los Diámetros del Mortero</i></th> <th><i>Valores</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>L1 (cm)</i></td> <td><i>21</i></td> </tr> <tr> <td><i>L2 (cm)</i></td> <td><i>22</i></td> </tr> <tr> <td><i>L3 (cm)</i></td> <td><i>20.5</i></td> </tr> <tr> <td><i>L4 (cm)</i></td> <td><i>21</i></td> </tr> <tr> <td><i>Lectura promedio (cm)</i></td> <td><i>21.13</i></td> </tr> <tr> <td><i>% de fluidez</i></td> <td><i>111 %</i></td> </tr> </tbody> </table> <p> <i>Porcentaje de fluidez requerido según ASTM C109: <u>110 ± 5 %</u></i> </p> <p> <i>Observaciones:</i> _____ </p>			<i>Lectura de los Diámetros del Mortero</i>	<i>Valores</i>	<i>L1 (cm)</i>	<i>21</i>	<i>L2 (cm)</i>	<i>22</i>	<i>L3 (cm)</i>	<i>20.5</i>	<i>L4 (cm)</i>	<i>21</i>	<i>Lectura promedio (cm)</i>	<i>21.13</i>	<i>% de fluidez</i>	<i>111 %</i>
<i>Lectura de los Diámetros del Mortero</i>	<i>Valores</i>															
<i>L1 (cm)</i>	<i>21</i>															
<i>L2 (cm)</i>	<i>22</i>															
<i>L3 (cm)</i>	<i>20.5</i>															
<i>L4 (cm)</i>	<i>21</i>															
<i>Lectura promedio (cm)</i>	<i>21.13</i>															
<i>% de fluidez</i>	<i>111 %</i>															

		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"											
INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO.										Anexo		A-6.2	
										Norma aplicada		ASTM C109/C109M-08	
										Hoja		1/2	
										Fecha de ensayo:		Abril-Mayo/2016	
<u>Especímenes fabricados en el laboratorio</u>													
Espécimen N°	Fecha de ensayo	Edad (días)	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Peso (g)	Densidad (kg/m ³)	Carga de falla (kg)	Resistencia a Compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Desv. Están	C.V. (%)
EM-1	29/04	10	5.11	5.13	5.02	26.214 3	274.40	2090.00	4550.00	173.57	183.29	13.75	7.50
EM-2	29/04	10	5.12	5.11	5.01	26.163 2	275.67	2100.00	5050.00	193.02			
Espécimen N°	Fecha de ensayo	Edad (días)	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Peso (g)	Densidad (kg/m ³)	Carga de falla (kg)	Resistencia a Compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Desv. Están	C.V. (%)
EM-3	17/05	28	5.1	5.13	5.01	26.163	278.00	2120.00	5300.00	202.58	209.28	7.15	3.41
EM-4	17/05	28	5.12	5.2	5.01	26.624	276.00	2070.00	5550.00	208.46			
EM-5	17/05	28	5.11	5.1	5.03	26.061	280.00	2140.00	5650.00	216.80			
Resistencia mínima promedio para un mortero tipo S a los 28 días, según la "Norma técnica para control de calidad de materiales estructurales": <u>125 kg/cm²</u>													
Observaciones: <u>Los especímenes fabricados en laboratorio provienen de la misma mezcla utilizada para el ensayo de fluidez del mortero.</u>													

		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"											
INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO.										Anexo		A-6.2	
										Norma aplicada		ASTM C109/C109M-08	
										Hoja		2/2	
										Fecha de ensayo:		Mayo/2016	
<u>Especímenes fabricados en la obra</u>													
Espécimen N°	Fecha de ensayo	Edad (días)	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Peso (g)	Densidad (kg/m ³)	Carga de falla (kg)	Resistencia a Compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Desv. Están	C.V. (%)
EM-1	03/05	7	5.11	5.11	5.01	26.11	240.96	1841.90	1400.00	53.61	61.65	7.02	11.38
EM-2	03/05	7	5.12	5.11	5.01	26.16	243.50	1857.68	1694.67	64.77			
EM-3	03/05	7	5.13	5.1	5.01	26.16	242.14	1847.32	1741.68	66.57			
Espécimen N°	Fecha de ensayo	Edad (días)	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Peso (g)	Densidad (kg/m ³)	Carga de falla (kg)	Resistencia a Compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Desv. Están	C.V. (%)
EM-3	24/05	28	5	5.1	5.02	25.5	245.00	1913.91	2500.00	98.04	101.19	3.88	3.83
EM-4	24/05	28	5.1	5.11	5.03	26.06	243.00	1853.73	2750.00	105.52			
EM-5	24/05	28	5	5	5.01	25	244.00	1948.10	2500.00	100.00			
Resistencia mínima promedio para un mortero tipo S a los 28 días, según la "Norma técnica para control de calidad de materiales estructurales": <u>125 kg/cm²</u>													



Figura A-6.2.1: Resistencia a compresión a 28 días de cubos de mortero, fabricados en el laboratorio.



Figura A-2.2.2: Elaboración de Cubos de mortero, especímenes fabricados en la obra.



Figura A-6.2.3: Resistencia a compresión a 28 días de cubos de mortero, fabricados en la obra.

A-7 Control de calidad del acero de refuerzo.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"																																																																																																						
	INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA RESISTENCIA A TENSIÓN DE BARRAS DE ACERO DE REFUERZO																																																																																																						
		Anexo	A-7.1																																																																																																				
		Norma aplicada	ASTM A370-03a																																																																																																				
		Hoja	1/2																																																																																																				
		Fecha de ensayo:	19/05/2016																																																																																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>MUESTRA</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(DESCRIPCION)</td> <td>Grado 40</td> <td>Grado 40</td> <td>Grado 40</td> </tr> <tr> <td>DIAMETRO NOMINAL (pulg)</td> <td>3/8</td> <td>3/8</td> <td>3/8</td> </tr> <tr> <td>LONGITUD DE MUESTRA (cm)</td> <td>60</td> <td>60</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>PESO DE MUESTRA (kg)</td> <td>0.310</td> <td>0.311</td> <td>0.312</td> </tr> <tr> <td>PESO/METRO LINEAL (kg/m)</td> <td>0.52</td> <td>0.52</td> <td>0.52</td> </tr> <tr> <td>PESO /METRO LINEAL NOMINAL (kg/m)</td> <td>0.52</td> <td>0.52</td> <td>0.52</td> </tr> <tr> <td>% VARIACION DE PESO</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>DIAMETRO INICIAL (cm)</td> <td>0.9</td> <td>0.9</td> <td>0.89</td> </tr> <tr> <td>DIAMETRO FINAL (cm)</td> <td>0.65</td> <td>0.68</td> <td>0.685</td> </tr> <tr> <td>AREA NOMINAL (cm²)</td> <td>0.71</td> <td>0.71</td> <td>0.71</td> </tr> <tr> <td>AREA EFECTIVA (cm²)</td> <td>0.64</td> <td>0.64</td> <td>0.62</td> </tr> <tr> <td>% VARIACION DE AREA</td> <td>10.72</td> <td>10.72</td> <td>12.69</td> </tr> <tr> <td>% REDUCCION DE AREA</td> <td>47.84</td> <td>42.91</td> <td>40.76</td> </tr> <tr> <td>LONGITUD INICIAL Lo (cm)</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>LONGITUD FINAL Lf (cm)</td> <td>23.9</td> <td>23.9</td> <td>24.2</td> </tr> <tr> <td>% ELONGACION</td> <td>19.5</td> <td>19.5</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>CARGA DE FLUENCIA (kg)</td> <td>2600</td> <td>2650</td> <td>2650</td> </tr> <tr> <td>ESFUERZO DE FLUENCIA (kg/cm²)</td> <td>3648.83</td> <td>3719.00</td> <td>3719.00</td> </tr> <tr> <td>CARGA MAXIMA (kg)</td> <td>3700</td> <td>3800</td> <td>3800</td> </tr> <tr> <td>ESFUERZO ULTIMO (kg/cm²)</td> <td>5192.56</td> <td>5332.90</td> <td>5332.90</td> </tr> <tr> <td>ESFUERZO DE FLUENCIA (PSI)</td> <td>51898.39</td> <td>52896.43</td> <td>52896.43</td> </tr> <tr> <td>ESFUERZO ULTIMO (PSI)</td> <td>73855.40</td> <td>75851.49</td> <td>75851.49</td> </tr> <tr> <td>RANGO DE CARGA</td> <td>40000</td> <td>40000</td> <td>40000</td> </tr> <tr> <td>TIPO DE FRACTURA</td> <td>Diagonal</td> <td>Diagonal</td> <td>Diagonal</td> </tr> </tbody> </table>				MUESTRA	1	2	3	(DESCRIPCION)	Grado 40	Grado 40	Grado 40	DIAMETRO NOMINAL (pulg)	3/8	3/8	3/8	LONGITUD DE MUESTRA (cm)	60	60	60	PESO DE MUESTRA (kg)	0.310	0.311	0.312	PESO/METRO LINEAL (kg/m)	0.52	0.52	0.52	PESO /METRO LINEAL NOMINAL (kg/m)	0.52	0.52	0.52	% VARIACION DE PESO	0.00	0.00	0.00	DIAMETRO INICIAL (cm)	0.9	0.9	0.89	DIAMETRO FINAL (cm)	0.65	0.68	0.685	AREA NOMINAL (cm ²)	0.71	0.71	0.71	AREA EFECTIVA (cm ²)	0.64	0.64	0.62	% VARIACION DE AREA	10.72	10.72	12.69	% REDUCCION DE AREA	47.84	42.91	40.76	LONGITUD INICIAL Lo (cm)	20	20	20	LONGITUD FINAL Lf (cm)	23.9	23.9	24.2	% ELONGACION	19.5	19.5	21	CARGA DE FLUENCIA (kg)	2600	2650	2650	ESFUERZO DE FLUENCIA (kg/cm ²)	3648.83	3719.00	3719.00	CARGA MAXIMA (kg)	3700	3800	3800	ESFUERZO ULTIMO (kg/cm ²)	5192.56	5332.90	5332.90	ESFUERZO DE FLUENCIA (PSI)	51898.39	52896.43	52896.43	ESFUERZO ULTIMO (PSI)	73855.40	75851.49	75851.49	RANGO DE CARGA	40000	40000	40000	TIPO DE FRACTURA	Diagonal	Diagonal	Diagonal
MUESTRA	1	2	3																																																																																																				
(DESCRIPCION)	Grado 40	Grado 40	Grado 40																																																																																																				
DIAMETRO NOMINAL (pulg)	3/8	3/8	3/8																																																																																																				
LONGITUD DE MUESTRA (cm)	60	60	60																																																																																																				
PESO DE MUESTRA (kg)	0.310	0.311	0.312																																																																																																				
PESO/METRO LINEAL (kg/m)	0.52	0.52	0.52																																																																																																				
PESO /METRO LINEAL NOMINAL (kg/m)	0.52	0.52	0.52																																																																																																				
% VARIACION DE PESO	0.00	0.00	0.00																																																																																																				
DIAMETRO INICIAL (cm)	0.9	0.9	0.89																																																																																																				
DIAMETRO FINAL (cm)	0.65	0.68	0.685																																																																																																				
AREA NOMINAL (cm ²)	0.71	0.71	0.71																																																																																																				
AREA EFECTIVA (cm ²)	0.64	0.64	0.62																																																																																																				
% VARIACION DE AREA	10.72	10.72	12.69																																																																																																				
% REDUCCION DE AREA	47.84	42.91	40.76																																																																																																				
LONGITUD INICIAL Lo (cm)	20	20	20																																																																																																				
LONGITUD FINAL Lf (cm)	23.9	23.9	24.2																																																																																																				
% ELONGACION	19.5	19.5	21																																																																																																				
CARGA DE FLUENCIA (kg)	2600	2650	2650																																																																																																				
ESFUERZO DE FLUENCIA (kg/cm ²)	3648.83	3719.00	3719.00																																																																																																				
CARGA MAXIMA (kg)	3700	3800	3800																																																																																																				
ESFUERZO ULTIMO (kg/cm ²)	5192.56	5332.90	5332.90																																																																																																				
ESFUERZO DE FLUENCIA (PSI)	51898.39	52896.43	52896.43																																																																																																				
ESFUERZO ULTIMO (PSI)	73855.40	75851.49	75851.49																																																																																																				
RANGO DE CARGA	40000	40000	40000																																																																																																				
TIPO DE FRACTURA	Diagonal	Diagonal	Diagonal																																																																																																				
<p>Especificaciones según ASTM A370 para el resultado de ensayos: Resistencia mínima a tensión= <u>60,000 PSI</u>; Resistencia mínima a fluencia= 40,000 PSI; y porcentaje de elongación mínimo= <u>11%</u></p>																																																																																																							

	<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p>																																																																																																					
<p>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA RESISTENCIA A TENSIÓN DE BARRAS DE ACERO DE REFUERZO</p>	<p>Anexo</p>	<p>A-7.1</p>																																																																																																				
	<p>Norma aplicada</p>	<p>ASTM A370-03a</p>																																																																																																				
	<p>Hoja</p>	<p>2/2</p>																																																																																																				
	<p>Fecha de ensayo:</p>	<p>19/05/2016</p>																																																																																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>MUESTRA</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(DESCRIPCION)</td> <td>Grado 40</td> <td>Grado 40</td> <td>Grado 40</td> </tr> <tr> <td>DIAMETRO NOMINAL (pulg)</td> <td>1/4</td> <td>1/4</td> <td>1/4</td> </tr> <tr> <td>LONGITUD DE MUESTRA (cm)</td> <td>60</td> <td>60</td> <td>60.3</td> </tr> <tr> <td>PESO DE MUESTRA (kg)</td> <td>0.133</td> <td>0.135</td> <td>0.136</td> </tr> <tr> <td>PESO/METRO LINEAL (kg/m)</td> <td>0.22</td> <td>0.23</td> <td>0.23</td> </tr> <tr> <td>PESO /METRO LINEAL NOMINAL (kg/m)</td> <td>0.22</td> <td>0.23</td> <td>0.23</td> </tr> <tr> <td>% VARIACION DE PESO</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.50</td> </tr> <tr> <td>DIAMETRO INICIAL (cm)</td> <td>0.6</td> <td>0.6</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>DIAMETRO FINAL (cm)</td> <td>0.34</td> <td>0.31</td> <td>0.33</td> </tr> <tr> <td>AREA NOMINAL (cm²)</td> <td>0.32</td> <td>0.32</td> <td>0.32</td> </tr> <tr> <td>AREA EFECTIVA (cm²)</td> <td>0.28</td> <td>0.28</td> <td>0.28</td> </tr> <tr> <td>% VARIACION DE AREA</td> <td>10.72</td> <td>10.72</td> <td>10.72</td> </tr> <tr> <td>% REDUCCION DE AREA</td> <td>67.89</td> <td>73.31</td> <td>69.75</td> </tr> <tr> <td>LONGITUD INICIAL Lo (cm)</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>LONGITUD FINAL Lf (cm)</td> <td>24.4</td> <td>23</td> <td>24.2</td> </tr> <tr> <td>% ELONGACION</td> <td>22</td> <td>15</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>CARGA DE FLUENCIA (kg)</td> <td>700</td> <td>750</td> <td>800</td> </tr> <tr> <td>ESFUERZO DE FLUENCIA (kg/cm²)</td> <td>2210.35</td> <td>2368.23</td> <td>2526.11</td> </tr> <tr> <td>CARGA MAXIMA (kg)</td> <td>950</td> <td>950</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>ESFUERZO ULTIMO (kg/cm²)</td> <td>2999.76</td> <td>2999.76</td> <td>3157.64</td> </tr> <tr> <td>ESFUERZO DE FLUENCIA (PSI)</td> <td>31438.45</td> <td>33684.05</td> <td>35929.65</td> </tr> <tr> <td>ESFUERZO ULTIMO (PSI)</td> <td>42666.46</td> <td>42666.46</td> <td>44912.07</td> </tr> <tr> <td>RANGO DE CARGA</td> <td>40000</td> <td>40000</td> <td>40000</td> </tr> <tr> <td>TIPO DE FRACTURA</td> <td>Cónica</td> <td>Cónica</td> <td>Cónica</td> </tr> </tbody> </table>			MUESTRA	1	2	3	(DESCRIPCION)	Grado 40	Grado 40	Grado 40	DIAMETRO NOMINAL (pulg)	1/4	1/4	1/4	LONGITUD DE MUESTRA (cm)	60	60	60.3	PESO DE MUESTRA (kg)	0.133	0.135	0.136	PESO/METRO LINEAL (kg/m)	0.22	0.23	0.23	PESO /METRO LINEAL NOMINAL (kg/m)	0.22	0.23	0.23	% VARIACION DE PESO	0.00	0.00	0.50	DIAMETRO INICIAL (cm)	0.6	0.6	0.6	DIAMETRO FINAL (cm)	0.34	0.31	0.33	AREA NOMINAL (cm ²)	0.32	0.32	0.32	AREA EFECTIVA (cm ²)	0.28	0.28	0.28	% VARIACION DE AREA	10.72	10.72	10.72	% REDUCCION DE AREA	67.89	73.31	69.75	LONGITUD INICIAL Lo (cm)	20	20	20	LONGITUD FINAL Lf (cm)	24.4	23	24.2	% ELONGACION	22	15	21	CARGA DE FLUENCIA (kg)	700	750	800	ESFUERZO DE FLUENCIA (kg/cm ²)	2210.35	2368.23	2526.11	CARGA MAXIMA (kg)	950	950	1000	ESFUERZO ULTIMO (kg/cm ²)	2999.76	2999.76	3157.64	ESFUERZO DE FLUENCIA (PSI)	31438.45	33684.05	35929.65	ESFUERZO ULTIMO (PSI)	42666.46	42666.46	44912.07	RANGO DE CARGA	40000	40000	40000	TIPO DE FRACTURA	Cónica	Cónica	Cónica
MUESTRA	1	2	3																																																																																																			
(DESCRIPCION)	Grado 40	Grado 40	Grado 40																																																																																																			
DIAMETRO NOMINAL (pulg)	1/4	1/4	1/4																																																																																																			
LONGITUD DE MUESTRA (cm)	60	60	60.3																																																																																																			
PESO DE MUESTRA (kg)	0.133	0.135	0.136																																																																																																			
PESO/METRO LINEAL (kg/m)	0.22	0.23	0.23																																																																																																			
PESO /METRO LINEAL NOMINAL (kg/m)	0.22	0.23	0.23																																																																																																			
% VARIACION DE PESO	0.00	0.00	0.50																																																																																																			
DIAMETRO INICIAL (cm)	0.6	0.6	0.6																																																																																																			
DIAMETRO FINAL (cm)	0.34	0.31	0.33																																																																																																			
AREA NOMINAL (cm ²)	0.32	0.32	0.32																																																																																																			
AREA EFECTIVA (cm ²)	0.28	0.28	0.28																																																																																																			
% VARIACION DE AREA	10.72	10.72	10.72																																																																																																			
% REDUCCION DE AREA	67.89	73.31	69.75																																																																																																			
LONGITUD INICIAL Lo (cm)	20	20	20																																																																																																			
LONGITUD FINAL Lf (cm)	24.4	23	24.2																																																																																																			
% ELONGACION	22	15	21																																																																																																			
CARGA DE FLUENCIA (kg)	700	750	800																																																																																																			
ESFUERZO DE FLUENCIA (kg/cm ²)	2210.35	2368.23	2526.11																																																																																																			
CARGA MAXIMA (kg)	950	950	1000																																																																																																			
ESFUERZO ULTIMO (kg/cm ²)	2999.76	2999.76	3157.64																																																																																																			
ESFUERZO DE FLUENCIA (PSI)	31438.45	33684.05	35929.65																																																																																																			
ESFUERZO ULTIMO (PSI)	42666.46	42666.46	44912.07																																																																																																			
RANGO DE CARGA	40000	40000	40000																																																																																																			
TIPO DE FRACTURA	Cónica	Cónica	Cónica																																																																																																			
<p>Observaciones: <u>La norma ASTM A 615-04b, "Especificación Estándar para Barras de Acero al Carbono Lisas y Corrugadas para Refuerzo del Concreto", no presenta ningún requisito para barras de acero al carbono de ¼ de pulgada.</u></p>																																																																																																						



Figura A-7.1.1: Resistencia a la tensión, varilla N°3.



Figura A-7.1.2: Fractura en diagonal, varilla N°3.



Figura A-7.1.2: Fractura cónica, varilla N°2.

A-8 Control de calidad de los bloques de concreto

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"									
	INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA COMPRESIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO.						Anexo		A-8.1	
Norma aplicada							ASTM C140-06			
Hoja							1/1			
Fecha de ensayo:							20/05/2016			
Datos y resultados del ensayo:										
Muestra	Ancho prom. (cm)	Alto prom. (cm)	Largo prom. (cm)	Peso (kg)	Carga (kgf)	Área (cm ²)		Resistencia a Compresión (kg/cm ²)		
						Gruesa	Neta	Gruesa	Neta	
BC-1	14	19	39	10.285	33000	546	321.44	60.44	102.66	
BC-2	14	19	39	10.167	32500	546	321.44	59.52	101.11	
BC-3	14	19	39	10.365	31500	546	321.44	57.69	98.00	
Resistencia a Compresión promedio (kg/cm ²)		Desv. Están.		C.V. (%)						
Gruesa		Neta		Gruesa	Neta	Gruesa	Neta			
59.22		100.59		1.40	2.38	2.36	2.36			
La resistencia a compresión mínima según ASTM C90 es: 13.1 MPa (133.58 kg/cm ²) para el promedio de 3 unidades y 11.7 MPa (119.52 kg/cm ²) para unidades individuales.										

ANEXO B. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES Y COMPONENTES UTILIZADOS EN LA INTERVENCIÓN DE LAS PAREDES.

B-1 Control de calidad del mortero de reparación de grietas.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"										
INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO.								Anexo	B-1.1		
								Norma aplicada	ASTM C109/C109M-08		
								Hoja	1/1		
								Fecha de ensayo:	Agosto/2016		
<i>Mortero de reparación estructural (SIKA MONOTOP). Aplicado en la reparación de grietas de la pared BC-M03.</i>											
Espécimen N°	Fecha de ensayo	Edad (días)	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Altura (cm)	Área (cm²)	Peso (g)	Densidad (kg/m³)	Carga de falla (kg)	Resistencia a Compresión (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
EM-1	18/08	28	5.10	5.13	5.02	26.16	290.00	2,208.29	13,350.00	510.32	491.48
EM-2	18/08	28	5.10	5.10	5.03	26.01	289.00	2,208.99	12,550.00	482.51	
EM-3	18/08	28	5.10	5.14	5.01	26.21	287.00	2,185.63	12,623.00	481.61	
<i>Resistencia mínima a la compresión según "Norma europea EN 1504, Parte 3: Reparación estructural y no estructural de estructuras de hormigón": <u>500 kg/cm²</u></i>											

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"																																																
	INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO.																																																
		Anexo	B-1.2																																														
		Norma aplicada	ASTM C109/C109M-08																																														
		Hoja	1/1																																														
		Fecha de ensayo:	Agosto/2016																																														
<i>Mortero Tipo M, elaborado de forma manual. Aplicado en la reparación de grietas de la pared BC-M02.</i>																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Espécimen N°</th> <th>Fecha de ensayo</th> <th>Edad (días)</th> <th>Lado 1 (cm)</th> <th>Lado 2 (cm)</th> <th>Altura (cm)</th> <th>Área (cm²)</th> <th>Peso (g)</th> <th>Densidad (kg/m³)</th> <th>Carga de falla (kg)</th> <th>Resistencia a Compresión (kg/cm²)</th> <th>Resistencia promedio (kg/cm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>EM-1</td> <td>18/08</td> <td>28</td> <td>5.11</td> <td>5.10</td> <td>5.05</td> <td>26.06</td> <td>278.00</td> <td>2112.41</td> <td>6,600.00</td> <td>253.26</td> <td rowspan="3">264.24</td> </tr> <tr> <td>EM-2</td> <td>18/08</td> <td>28</td> <td>5.12</td> <td>5.13</td> <td>5.02</td> <td>26.26</td> <td>281.00</td> <td>2,131.61</td> <td>7,050.00</td> <td>268.47</td> </tr> <tr> <td>EM-3</td> <td>18/08</td> <td>28</td> <td>5.15</td> <td>5.16</td> <td>5.01</td> <td>26.57</td> <td>277.00</td> <td>2,080.90</td> <td>7,200.00</td> <td>270.98</td> </tr> </tbody> </table>	Espécimen N°	Fecha de ensayo	Edad (días)	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Peso (g)	Densidad (kg/m ³)	Carga de falla (kg)	Resistencia a Compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	EM-1	18/08	28	5.11	5.10	5.05	26.06	278.00	2112.41	6,600.00	253.26	264.24	EM-2	18/08	28	5.12	5.13	5.02	26.26	281.00	2,131.61	7,050.00	268.47	EM-3	18/08	28	5.15	5.16	5.01	26.57	277.00	2,080.90	7,200.00	270.98	<i>Resistencia mínima promedio para un mortero tipo M a los 28 días, según la "Norma técnica para control de calidad de materiales estructurales": <u>175 kg/cm²</u></i>		
Espécimen N°	Fecha de ensayo	Edad (días)	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Peso (g)	Densidad (kg/m ³)	Carga de falla (kg)	Resistencia a Compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)																																						
EM-1	18/08	28	5.11	5.10	5.05	26.06	278.00	2112.41	6,600.00	253.26	264.24																																						
EM-2	18/08	28	5.12	5.13	5.02	26.26	281.00	2,131.61	7,050.00	268.47																																							
EM-3	18/08	28	5.15	5.16	5.01	26.57	277.00	2,080.90	7,200.00	270.98																																							

B-2 Control de calidad del mortero de repello.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"										
	INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO.										
		Anexo	B-2.1								
		Norma aplicada	ASTM C109/C109M-08								
		Hoja	1/1								
		Fecha de ensayo:	Agosto/2016								
<i>Mortero Tipo M, elaborado de forma manual. Aplicado en el repello de la pared BC-M02.</i>											
Espécimen N°	Fecha de ensayo	Edad (días)	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Peso (g)	Densidad (kg/m ³)	Carga de falla (kg)	Resistencia a Compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
EM-1	24/08	28	5.08	5.08	5.01	25.81	270.00	2,088.04	6,550.00	253.78	256.05
EM-2	24/08	28	5.07	5.08	5.05	25.76	267.00	2,052.46	6,550.00	254.27	
EM-3	24/08	28	5.07	5.08	5.02	25.76	268.00	2,072.46	6,700.00	260.09	
<i>Resistencia mínima promedio para un mortero tipo M a los 28 días, según la "Norma técnica para control de calidad de materiales estructurales": <u>175 kg/cm²</u>.</i>											

B-3 Control de calidad de la malla electro soldada.

	<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p>																																																		
<p>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA RESISTENCIA A TENSION DE ALAMBRES DE LA MALLA ELECTROSOLDADA</p>	<p>Anexo</p>	<p>A-3.1</p>																																																	
	<p>Norma aplicada</p>	<p>ASTM A370-03a</p>																																																	
	<p>Hoja</p>	<p>1/1</p>																																																	
	<p>Fecha de ensayo:</p>	<p>24/08/2016</p>																																																	
<p>Datos y resultados del ensayo:</p>																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>MUESTRA</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Calibre</td> <td>10x10</td> <td>10x10</td> <td>10x10</td> </tr> <tr> <td>DIAMETRO NOMINAL (mm)</td> <td>3.43</td> <td>3.43</td> <td>3.43</td> </tr> <tr> <td>DIAMETRO INICIAL (mm)</td> <td>3.50</td> <td>3.50</td> <td>3.50</td> </tr> <tr> <td>ÁREA EFECTIVA (cm²)</td> <td>0.01</td> <td>0.01</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>LONGITUD DE MUESTRA (cm)</td> <td>59.5</td> <td>59.5</td> <td>59.1</td> </tr> <tr> <td>PESO DE MUESTRA (kg)</td> <td>0.06</td> <td>0.06</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td>PESO/METRO LINEAL (kg/m)</td> <td>0.09</td> <td>0.10</td> <td>0.09</td> </tr> <tr> <td>CARGA DE FLUENCIA (kg)</td> <td>500</td> <td>550</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>ESFUERZO DE FLUENCIA (kg/cm²)</td> <td>5,196.96</td> <td>5,716.66</td> <td>5,196.96</td> </tr> <tr> <td>CARGA ÚLTIMA (kg)</td> <td>650</td> <td>700</td> <td>650</td> </tr> <tr> <td>ESFUERZO ÚLTIMO (kg/cm²)</td> <td>6,756.05</td> <td>7,275.75</td> <td>6,756.05</td> </tr> </tbody> </table>				MUESTRA	1	2	3	Calibre	10x10	10x10	10x10	DIAMETRO NOMINAL (mm)	3.43	3.43	3.43	DIAMETRO INICIAL (mm)	3.50	3.50	3.50	ÁREA EFECTIVA (cm ²)	0.01	0.01	0.01	LONGITUD DE MUESTRA (cm)	59.5	59.5	59.1	PESO DE MUESTRA (kg)	0.06	0.06	0.05	PESO/METRO LINEAL (kg/m)	0.09	0.10	0.09	CARGA DE FLUENCIA (kg)	500	550	500	ESFUERZO DE FLUENCIA (kg/cm ²)	5,196.96	5,716.66	5,196.96	CARGA ÚLTIMA (kg)	650	700	650	ESFUERZO ÚLTIMO (kg/cm ²)	6,756.05	7,275.75	6,756.05
MUESTRA	1	2	3																																																
Calibre	10x10	10x10	10x10																																																
DIAMETRO NOMINAL (mm)	3.43	3.43	3.43																																																
DIAMETRO INICIAL (mm)	3.50	3.50	3.50																																																
ÁREA EFECTIVA (cm ²)	0.01	0.01	0.01																																																
LONGITUD DE MUESTRA (cm)	59.5	59.5	59.1																																																
PESO DE MUESTRA (kg)	0.06	0.06	0.05																																																
PESO/METRO LINEAL (kg/m)	0.09	0.10	0.09																																																
CARGA DE FLUENCIA (kg)	500	550	500																																																
ESFUERZO DE FLUENCIA (kg/cm ²)	5,196.96	5,716.66	5,196.96																																																
CARGA ÚLTIMA (kg)	650	700	650																																																
ESFUERZO ÚLTIMO (kg/cm ²)	6,756.05	7,275.75	6,756.05																																																
<p>Especificaciones según ASTM A-185 para el resultado de ensayos: Resistencia mínima a tensión= <u>5,700 kg/cm²</u>; Resistencia mínima a fluencia= <u>5,000 kg/cm²</u>.</p>																																																			

B-4 Especificaciones técnicas.**B-4.1 Mortero de reparación estructural Sika Monotop 412 SM.**

Construcción

Hoja Técnica
Edición: 2608201101
Identificación no. 409935
Sika Monotop® -412 SM

Sika Monotop® -412 SM

Mortero de reparación estructural de aplicación manual y por proyección

Descripción del Producto Sika Monotop® -412 SM es un mortero de reparación estructural base cemento, de un solo componente, reforzado con fibras, de baja contracción, listo para su uso en aplicaciones de altos espesores sin necesidad de cimbra.

Usos

- Para trabajos de reparación de desprendimientos, oquedades o deterioros en elementos de concreto simple o armado en cualquier tipo de estructura.
- Adecuado para trabajos de refuerzo estructural mediante el incremento de la capacidad de carga de la estructura de concreto al adicionar el mortero.
- Adecuado para trabajos de preservación o restauración de la pasividad en el acero de refuerzo mediante el incremento del espesor de recubrimiento y reemplazo del concreto carbonatado y/o contaminado.

Ventajas

- Excelente trabajabilidad, incluso a temperaturas ambientales altas.
- Adecuado para aplicación a mano y por proyección.
- Se puede aplicar en espesores de capa de hasta 50 mm.
- Para reparaciones estructurales.
- Alta resistencia a sulfatos.
- Por su baja contracción y refuerzo con fibras, tiene reducida tendencia a fisurarse.
- Buena adherencia, incluso sin productos adicionales como puente de unión.
- Baja permeabilidad a cloruros.
- Clasificación al fuego A1.

Datos de Producto

Apariencia/Color	Polvo gris
Presentación	Saco de 25 Kg
Condiciones de Almacenamiento/Conservación	12 meses desde su fecha de fabricación, en su empaque de origen, bien cerrado y no deteriorado, almacenado en un lugar seco, fresco y protegido de las heladas.

Datos Técnicos

Base Química	Cemento sulforresistente, áridos seleccionados y aditivos especiales.
Densidad	Densidad del mortero fresco ~ 2.10 kg/L



1
Sika Monotop® -412 SM 1/5

Granulometría Dmáx: 2.4 mm

Espesor por capa 6 mm mín. / 50 mm máx., en vertical
6 mm mín. / 30 mm máx., sobre cabeza

Propiedades Mecánicas/Físicas

Resistencia a Compresión

1 día	~ 18 MPa (183 kg/cm ²)
3 días	~ 30 MPa (306 kg/cm ²)
7 días	~ 40 MPa (408 kg/cm ²)
28 días	~ 54 MPa (550 kg/cm ²)

Resistencia a la tracción por flexión

1 día	~ 3.9 MPa (30 kg/cm ²)
7 días	~ 6.5 MPa (66 kg/cm ²)
28 días	~ 8.0 MPa (82 kg/cm ²)

Requerimientos de acuerdo a EN 1504-3 Clase R4. Ensayado con una relación agua/polvo = 15%

	Ensayo	Resultados	Requerimientos (R4)
Resistencia a compresión	EN 12190	54 (MPa) (550 kg/cm ²)	>45 MPa
Contenido de ión cloro	EN 1015	~ 0.03%	< 0.05%
Absorción capilar	EN 13057	~ 0.1 kg/m ² h ^{-0.5}	< 0.5 kg·m ⁻² ·h ^{-0.5}
Resistencia a la carbonatación	EN 13295	Pasa: menor que el control	Concreto de control tipo MC(0.45), d _{ke} = 5 mm
Módulo de elasticidad	EN 13412	~ 30 GPa (305,800 kg/cm ²)	> 20 GPa
Compatibilidad Térmica. Enfriamiento brusco	EN 13687-2	~ 2.1 MPa (21.4 kg/cm ²)	> 2.0 N/mm ² (MPa)
Compatibilidad Térmica. Ciclos térmicos en seco	EN 13687-4	~ 2.1 MPa (21.4 kg/cm ²)	> 2.0 N/mm ² (MPa)
Adherencia	EN 1542	~ 2.4 MPa (24.5 kg/cm ²)	> 2.0 N/mm ² (MPa)

Aplicación

Consumo Depende de la rugosidad del soporte y el espesor de capa aplicada. Como aproximación, se utilizan ~ 19 kg por m² por cada cm de espesor.
1 saco rinde aproximadamente 13.7 litros de mortero.

	Calidad del sustrato	<p><i>Concreto</i></p> <p>El concreto debe estar libre de polvo, material suelto o mal adherido, contaminantes superficiales y materiales que puedan reducir la adherencia o impedir la humectación de los materiales de reparación.</p> <p><i>Acero de refuerzo</i></p> <p>Se deben eliminar totalmente restos de óxido, mortero, polvo y otros materiales que puedan impedir la adherencia o que contribuyan a la corrosión.</p> <p>También se deben contemplar los requerimientos específicos de la EN 1504-10.</p>
	Preparación del sustrato/ Imprimación	<p><i>Concreto</i></p> <p>Se debe eliminar el concreto delaminado, débil, deteriorado y contaminado o si es necesario, concreto sano, por medios mecánicos adecuados o chorro de agua a alta presión.</p> <p>Se deben eliminar, donde sea posible, alambres de amarres, puntas y otros restos metálicos que estén embebidos en el concreto.</p> <p>Los bordes donde se haya eliminado concreto deben tener un ángulo mínimo de 90° y máximo de 135° para reducir la posibilidad de desprendimientos con la superficie adyacente de concreto sano.</p> <p>Asegurarse de que se ha eliminado suficiente concreto alrededor de las barras de acero de refuerzo para permitir que el material de reparación la rodee y se pueda compactar.</p> <p><i>Acero de refuerzo:</i></p> <p>Las superficies se deben preparar utilizando técnicas de chorro abrasivo de arena o agua a alta presión.</p> <p><i>Imprimación de adherencia:</i></p> <p>Normalmente no se necesita imprimación sobre una superficie preparada con rugosidad adecuada. Cuando no se requiera imprimación, es necesaria una humectación superficial previa del sustrato. No se debe dejar que la superficie seque antes de aplicar el mortero de reparación. La superficie debe adquirir una apariencia mate oscura, sin brillos y sin encharcamientos al momento de la aplicación.</p> <p>Cuando sea necesario un puente de adherencia, aplicar SikaTop® Armatec 110 Epocem® o Sikadur® 32 (consultar Hojas Técnicas). La aplicación posterior del mortero se debe hacer "fresco sobre fresco", cuando el puente de adherencia todavía no ha endurecido.</p> <p><i>Recubrimiento del acero:</i></p> <p>Cuando sea requerido proteger con un recubrimiento el acero de refuerzo como barrera de protección, usar SikaTop® Armatec 110 Epocem® aplicando uniformemente en toda la superficie del acero (consultar Hoja Técnica).</p>
	Condiciones de Aplicación	
	Temperatura del Sustrato	min. +5°C / max. +35°C
	Temperatura Ambiente	min. +5°C / max. +35°C

Instrucciones de Aplicación	
Proporciones de mezcla	~ 3.65 a 3.9 litros de agua por 25 kg de polvo
Mezclado	<p>Sika Monotop® -412 SM se puede mezclar con un taladro manual de bajas revoluciones o con un mezclador adecuado para morteros (<500 rpm) o, para aplicación con máquina de lanzado, utilizando un mezclador especial para 2 o 3 sacos. Sika Monotop® -412 SM se puede mezclar también manualmente, pero se debe asegurar que se consiga una mezcla uniforme.</p> <p>Verter 3.65 L de agua en el recipiente de mezclado. Añadir el polvo al agua, mientras se va batiendo la mezcla. Mezclar a conciencia durante al menos 3 minutos, hasta conseguir la consistencia requerida. Si considera necesario, en función del tipo de aplicación y método de mezclado, agregue agua a la mezcla sin exceder la relación máxima sugerida de 3.9 L por saco de 25 kg.</p>
Método de Aplicación	<p>Sika Monotop® -412 SM se puede aplicar por métodos manuales tradicionales o mediante la utilización de equipos de proyección por vía húmeda. Cuando se necesite un puente de adherencia, asegurarse de que éste se encuentre todavía fresco cuando se aplique el mortero de reparación (técnica "fresco sobre fresco"). Cuando se aplique manualmente, presionar el mortero fuertemente contra el sustrato e ir rellenando en capas con ayuda de llana o cuchara.</p> <p>El acabado, tanto cuando se utilicen medios manuales como mecánicos, se realizará con una llana antes de que el material haya empezado a endurecer.</p>
Tratamiento de Curado	Proteger el mortero recién aplicado de una deshidratación temprana, utilizando los métodos de curado adecuados, con especial cuidado en condiciones de insolación directa y fuertes vientos. Entre capas del producto, si es necesario, cure únicamente con agua.
Limpieza de herramientas	Limpiar las herramientas y equipo de trabajo con agua inmediatamente después de su uso. El material endurecido, sólo puede eliminarse con medios mecánicos.
Tiempo de vida de la mezcla (+20°C)	~ 45 minutos
Notas de Aplicación / Limitaciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ Cuando se aplique bajo incidencia directa del sol y/o vientos fuertes, extreme precauciones de curado y protección. ■ No añadir agua por encima de la dosificación recomendada. ■ Aplicar sólo sobre soportes sanos y preparados. ■ No añadir agua adicional durante el acabado superficial, puesto que esto puede causar decoloración y fisuración. Utilice Sika® Film en caso de requerirse para este propósito. ■ Proteger el material fresco recién aplicado de las heladas.
Información de seguridad e higiene	Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.

Construcción

Información Adicional	<p>Todos los datos técnicos aquí contenidos están basados en ensayos de laboratorio. El valor real puede variar debido a circunstancias fuera de nuestro control.</p> <p>Las Hojas Técnicas de Productos son actualizadas periódicamente. Para asegurar que tenga la versión más actual, visite la sección de hojas técnicas de productos en www.sika.com.mx. La aplicación adecuada del material es responsabilidad de quien lo aplica. Las visitas en sitio de personal de Sika son únicamente para recomendaciones técnicas, y no para supervisión o control de calidad.</p>
Información de seguridad e higiene	<p>Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.</p>
Nota Legal	<p>Toda la información contenida en este documento y en cualquier otra asesoría proporcionada, fue dada de buena fe, basada en el conocimiento actual y la experiencia de Sika Mexicana en los productos. Válida para su implementación siempre y cuando los productos hayan sido correctamente almacenados, manejados y aplicados en situaciones normales y de acuerdo a las recomendaciones de Sika Mexicana. La información es válida únicamente para la(s) aplicación(es) y el(los) producto(s) a los que se hace expresamente referencia. En caso de cambios en los parámetros de la aplicación, como por ejemplo cambios en los sustratos, o en caso de una aplicación diferente, consulte al Soporte Técnico de Sika Mexicana (01 800 123 7452) antes de la utilización de los productos Sika. La información aquí contenida no exonera al usuario de hacer pruebas sobre los productos para la aplicación y la finalidad deseadas. En todo caso referirse siempre a la última versión vigente de la Hoja Técnica del Producto. Los pedidos son aceptados en conformidad con los términos de nuestras condiciones generales vigentes de venta y suministro.</p>

Para dudas o aclaraciones:

Sika responde

01 800 123 SIK_{7 4 5 2}A

soporte.tecnico@mx.sika.com

sika.responde@mx.sika.com

www.sika.com.mx



B-4.2 Puente de adherencia Sikadur -32 Primer

Construcción	<p>HOJA TECNICA Versión: 01/2012 Sikadur-32 Primer</p>
	<p>Sikadur®-32 Primer Puente de adherencia de concreto fresco a endurecido</p>
	<p>DESCRIPCION Es un adhesivo epóxico de dos componentes, libre de solventes. Garantiza una pega perfecta entre concreto fresco y endurecido.</p>
	<p>USOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Como puente de adherencia para la pega de concreto fresco a concreto endurecido. • Como ayuda a la adherencia de un mortero o concreto nuevo o de reparación a un sustrato de concreto para lograr una pega permanente que no sea afectada, en condiciones de servicio, por la humedad ó agentes agresores (durabilidad). • Como imprimante de alta adherencia para recubrimientos epóxicos sobre superficies de concreto absorbentes, húmedas o metálicas secas. • Como imprimante del Sikaflex-1a, Sikaflex 15 LM, Sikaflex-1CSL, Sikaflex AT Connection, Sikaflex AT Facade, Sikaflex Construction y Sikaflex 11FC en los casos en que lo requieren. • Para anclajes y rellenos. • Como capa impermeable y barrera de vapor de agua en los casos que se requiera.
	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Insensible a la humedad. • Excelente adherencia a superficies húmedas. • Forma barrera de vapor • Fácil de aplicar. • Altas resistencias mecánicas. • Libre de solventes. • No presenta contracción. • Disponible en dos versiones de curado (Normal y Lento).
<p>MODO DE EMPLEO</p> <p>Preparación de la superficie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concreto, mortero, asbesto-cemento, piedra: La superficie debe estar sana y limpia, libre de partes sueltas, contaminación de aceites, polvo, residuos de curadores, lechada de cemento u otras sustancias extrañas. <p>Método de limpieza:</p> <p>Chorro de arena, chorro de agua a presión, pulidora.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acero, hierro: La superficie debe estar seca y libre de contaminación de grasas, aceites, oxidación, cascarilla de laminación. <p>Método de limpieza:</p> <p>Chorro de arena, chorro de agua a presión, pulidora. (Limpiar hasta metal blanco de acuerdo con los patrones de la Norma Sueca Sa 3 o Norma Americana SSP - SP5).</p> <p>Preparación del producto:</p> <p>Los dos componentes vienen en distintos colores para facilitar el control sobre la homogeneidad de la mezcla. Verter completamente el Componente B sobre el Componente A y mezclar con taladro de bajas revoluciones (máximo 400 r.p.m.) o manualmente, hasta obtener una mezcla de color uniforme.</p>	
	

Aplicación:

Por medio de brocha o rodillo. En caso de aplicación sobre superficies húmedas se debe frotar el producto sobre ellas fuertemente con una brocha de cerdas cortas.

Nota: Colocar el concreto fresco mientras el **Sikadur-32 Primer** esté pegajoso, según tabla:

Versión normal

a 10°C = máximo 5 horas
a 20°C = máximo 3 horas
a 30°C = máximo 1 hora

Versión lenta

a 20°C = máximo 9 horas
a 30°C = máximo 6 horas
a 40°C = máximo 3 horas

Si el producto se ha secado se debe aplicar una segunda capa sobre la inicial. Las herramientas se limpian con **Colma Limpiador** cuando el producto aún este fresco. El producto endurecido se puede retirar únicamente por medios mecánicos. Lave las manos con agua y jabón al terminar la aplicación.

Consumo:

Entre 400-600 g/m² dependiendo de la rugosidad de la superficie. Para rugosidades excesivas el consumo puede aún ser mayor. En caso de dudas sobre el consumo se recomienda hacer ensayos previos

DATOS TECNICOS

Cumple norma ASTM C-881-02, tipo II, Grado 2, clase B y C.	
Color:	Gris Claro
Consistencia:	Viscosa media
Densidad de la mezcla:	1,36 kg/l ± 0,05 kg/l
Relación de la mezcla:	en peso y en volumen A:B = 2: 1
Vida en el recipiente:	Versión normal
Tiempos aproximados:	3 kg a 10°C = 80 min a 20°C = 40 min a 30°C = 15 min
Versión lenta:	3 kg a 20°C = 90 min a 30°C = 45 min a 40°C = 30 min
Resistencias mecánicas:	(7 días a 21°C) Versión Normal
Compresión(ASTM D 695):	740 kg/cm ²
Adherencia a la tensión (ASTM C 1583):	>30 kg/cm ² (falla el concreto)
Módulo de elasticidad (ASTM D 695):	17000 kg/cm ²
Absorción de agua (ASTM D 570):	0.45% a 1 día.
Temperatura de deflexión HDT (ASTM D 648):	36,7°C
Contenido VOC(gr/l):	< 70
Resistencias mecánicas:	(7 días a 21°C) Versión Lenta
Compresión(ASTM D 695):	720 kg/cm ²
Adherencia a la tensión (ASTM C 1583):	>30 kg/cm ² (falla el concreto)
Módulo de elasticidad (ASTM D 695):	11000 kg/cm ²
Absorción de agua (ASTM D 570):	0.43% a 1 día.
Temperatura de deflexión HDT (ASTM D 648):	36,9°C
Límites de aplicación:	
Temperatura del sustrato:	Mínima: 5°C Máxima: 40°C
En anclajes el diámetro del hueco es menor o igual a 1.5 veces el diámetro del perno o varilla, con espesor mínimo de la pega de 1.6 mm.	
Contenido de VOC:	< 100g/l

PRECAUCIONES

El **Sikadur-32 Primer** contiene endurecedores que son nocivos antes del curado final del producto.

El **Sikadur 32 Primer** no reemplaza el uso de conectores en labores de reforzamiento estructural. En caso de requerirse conectores o refuerzo que



	<p>atraviere la línea de pega de acuerdo con los esfuerzos esperados un ingeniero calculista o el responsable del diseño definirá su número, dimensiones y posición en la estructura.</p> <p>No se debe aplicar soldadura a elementos metálicos pegados con el adhesivo epóxico ya que seguramente se sobrepasará la temperatura máxima admisible de servicio del adhesivo, con ablandamiento o daño del mismo y falla en la pega. La temperatura de servicio del sistema de pega debe estar por debajo de la temperatura de deflexión (HDT) del adhesivo.</p>
MEDIDAS DE SEGURIDAD	Manténgase fuera del alcance de los niños. Usar guantes de caucho y gafas de protección para su manipulación, aplicar en lugares ventilados y cambiarse ropas contaminadas. Evite inhalar los vapores. Consultar Hojas de Seguridad del producto a través del departamento técnico.
PRESENTACION	Unidad: 1,0 kg y Unidad: 3,0 kg
ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE	El tiempo de almacenamiento es de (1) año en su envase original bien cerrado, en lugar fresco y bajo techo. Transportar con las precauciones normales para productos químicos.
CODIGOS R/S	R: 20/21/22/38/42/43 S: 2/3/7/9/13/15/20/21/23/24/25/26/27/29/36/38/39/41/45/46

NOTA

La información y, en particular, las recomendaciones sobre la aplicación y uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, basados en el conocimiento y experiencia actuales de Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados y manipulados, así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra son tan particulares que de esta información, cualquier recomendación escrita o cualquier otro consejo no se puede deducir garantía alguna respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad en particular, así como responsabilidad alguna que surja de cualquier relación legal. Se deben respetar los derechos de propiedad de terceros. Todas las órdenes de compra son aceptadas de acuerdo con nuestras actuales condiciones de venta y despacho. Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de la Hoja Técnica, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente. **Restricciones locales:** Tener en cuenta que como consecuencia de regulaciones específicas locales el funcionamiento de los productos puede variar de un país a otro. Consulte la Hoja de Datos locales para la descripción exacta de los campos de aplicación.



Sika Colombia S.A.
Vereda Canavita - Km 20.5 - Autopista Norte
Tocancipa, Cundinamarca
PBX: 8786333 - Fax: 8786660
e-mail: sika_colombia@co.sika.com
web: col.sika.com



Responsabilidad Integral

Codigo: CO-9C 933-1

Codigo: CO-SA 006-1