



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE FACHADAS DE MAMPOSTERIA,  
CONSTRUIDAS EN BOGOTÁ D.C.- COLOMBIA, ANTES DE LA EXPEDICIÓN  
DEL REGLAMENTO NSR-10**

**GERMÁN AHUMADA FORERO**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE ARTES  
MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN  
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA  
2015



**REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE FACHADAS DE  
MAMPOSTERIA, CONSTRUIDAS EN BOGOTÁ D.C. - COLOMBIA,  
ANTES DE LA EXPEDICIÓN DEL REGLAMENTO NSR-10**

**GERMÁN AHUMADA FORERO**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

**MAGISTER EN CONSTRUCCIÓN**

Director:

Ingeniero DANIEL ROJAS MORA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE ARTES  
MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN  
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA

2015





*La preocupación por el hombre y su destino siempre debe ser el interés primordial de todo esfuerzo técnico. Nunca olvides esto entre tus diagramas y ecuaciones.*

*Albert Einstein*



# Agradecimientos

*A ti Padre Santo por darme la oportunidad y el entendimiento para hacer posible este sueño.*

*A mi padre Clemente (Q.E.P.D.), a mi madre Fabiola: y hermanos: Carmen, Isabel, Eduardo y Olga.*

*A mi esposa, Myriam Andrea, mi motor de vida.  
A mis Hijos: Juan Pablo, Diego Andrés y Lina María.*

*Al Ingeniero Daniel Rojas Mora,  
Director de la presente investigación.*

*A todas las personas, Instituciones y Empresas.  
Que tan generosamente, facilitaron la información.*

*A todos ustedes, mil gracias.*

*Germán.*



## Resumen

El objetivo de una construcción sismo resistente es el de preservar tanto la vida humana como también el valor económico de la edificación. Con la expedición del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, se reglamentó la adecuación estructural de las edificaciones clasificadas como indispensables para la comunidad, construidas, en Colombia, antes de la entrada en vigencia, del Reglamento. Para adecuar estas edificaciones a los parámetros establecidos en el título A, del Reglamento se deben adelantar estudios de vulnerabilidad, medir la resistencia potencial de los elementos estructurales y no estructurales, ante la aparición de las sollicitaciones sísmicas. Mediante algunas actividades de reforzamiento, se logra obtener el desempeño esperado, en todos los componentes de la edificación.

La presente investigación, documenta procesos de reforzamiento y rehabilitación de fachadas de edificaciones fundamentales para la sociedad, adelantados por especialistas, reconocidos en Colombia y hace seguimiento a su estado físico, luego de los eventos sísmicos posteriores a su intervención. También, recopila y organiza la información técnica disponible, sobre diversos sistemas de rehabilitación y reforzamiento de mampostería, proveniente de las investigaciones adelantadas en países líderes en el desarrollo de la Ingeniería Sísmica. Con esta información se han establecido comparativos entre las diferentes técnicas de reforzamiento, en cuanto a eficiencia, facilidad constructiva y costo. La información se ha graficado en matrices de relación

A partir del conocimiento adquirido, se ha propuesto un sistema de reforzamiento, para fachadas de ladrillo a la vista y se ha implementado en un proceso de reforzamiento de una edificación, en Bogotá. Se recogen los aspectos técnicos y económicos de la aplicación de este sistema. Se espera que las conclusiones y recomendaciones sirvan para apoyar la toma de decisiones en nuevos procesos de rehabilitación de edificaciones y a mejorar nuestras prácticas constructivas.

**Palabras clave:** Reforzamiento, Rehabilitación, fachada; patología, reglamentación; eficiencia.

## Abstract

The objective of a seismic-resistant construction is to preserve both, human life and the economic value of the building. With the issuance of the Colombian Earthquake Resistant Building Regulations NSR -10, the structural adequacy of buildings classified as indispensable to the community, built in Colombia, before the effective date of the standard is regulated. To adapt these buildings to the parameters set out in section A, the NSR -10 should carry out studies of vulnerability, measure the potential strength of structural and non-structural elements, with the appearance of seismic loads. By strengthening some activities is achieved to obtain the expected performance in all components of the Building.

This research documents processes of reinforcement and rehabilitation of buildings facades fundamental to society, developed by specialists recognized in Colombia and follows up his fitness after his speech post-seismic events. Collects and organizes technical information available on various systems rehabilitation and strengthening of masonry from the investigations conducted into countries leaders in the development of Earthquake Engineering. With this information are set comparison between different techniques of reinforcement, for efficiency, ease of construction and cost. The information has been plotted in relation matrices

From the acquired knowledge, has proposed a system of reinforcement, for facades of brick and has been implemented in a process of strengthening of a building in Bogota. Technical and economic aspects of the application of this system are collected. It is hoped that the findings and recommendations serve to support decision-making in new buildings rehabilitation processes and improve our construction practices

**Keywords:** Strengthening, Rehabilitation, facade, pathology, regulation, efficiency

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen .....</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras .....</b>	<b>XVI</b>
<b>Lista de Imágenes.....</b>	<b>XVIII</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>XXIII</b>
<b>Lista de Análisis de Precios Unitarios .....</b>	<b>XXV</b>
<b>Lista de Símbolos y Abreviaturas.....</b>	<b>XXVII</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1. IDENTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>3</b>
1.1 Identificación.....	3
1.2 Planeamiento de la investigación.....	6
1.3 Objetivos.....	7
1.4 Formulación .....	8
1.5 Delimitación y alcance.....	9
1.6 Justificación .....	10
1.7 Marco Teórico.....	16
<b>2. NORMATIVIDAD COLOMBIANA .....</b>	<b>19</b>
2.1 Aplicación de la normativa vigente a edificios existentes.....	20
2.1.1 Aplicativo que ayuda a determinar la Vulnerabilidad de las fachadas..	28
2.2 Asignación de las responsabilidades.....	30
2.2.1 Responsabilidades de los diseñadores .....	32
2.2.2 Revisión de los diseños.....	33

2.2.3	Responsabilidades del constructor .....	34
2.2.4	Responsabilidades del propietario .....	37
<b>3.</b>	<b>TÉCNICAS DE REFORZAMIENTO .....</b>	<b>39</b>
3.1	Reforzamiento con elementos laminares .....	42
3.1.1	Reforzamiento con láminas de fibras de carbono .....	43
3.1.2	Reforzamiento con varillas de fibra de vidrio .....	47
3.1.3	Reforzamiento con correas de acero y plásticas .....	50
3.1.4	Listones de madera .....	53
3.1.5	Reforzamiento con PET reciclado .....	55
3.2	Reforzamiento con mallas .....	57
3.2.1	Malla electro soldadas .....	58
3.2.2	Malla de polímero .....	65
3.2.3	Mallas con polímeros PP-Band .....	67
3.2.4	Tejido bidireccional de fibra de vidrio .....	69
3.3	Reforzamiento con elementos metálicos .....	73
3.3.1	Cables metálicos .....	74
3.3.2	Perfiles de acero .....	76
3.3.3	Grapas de acero y mallas electro-soldadas .....	79
3.3.4	Arrostramiento externo con perfiles de acero .....	81
3.4	Reforzamiento con el uso de concreto reforzado .....	83
3.4.1	Confinamiento de muros con columnas y vigas .....	84
3.4.2	Recalce de mampostería con concreto reforzado .....	89
3.5	Reparación de grietas .....	91
3.5.1	Inyección de mortero fluido de cemento (Grouting) .....	91
3.5.2	Grout y epoxi inyecciones .....	94
3.5.3	Reforzamiento de mampostería con tensores y lechada de cemento ..	96
3.5.4	Comparativo entre los sistemas de Reforzamiento .....	97
<b>4.</b>	<b>COSTOS DE REFORZAMIENTO .....</b>	<b>99</b>
4.1	Costo de reforzamiento con elementos laminares .....	107
4.2	Costo de reforzamiento con mallas .....	112
4.3	Costo de reforzamiento con elementos metálicos .....	116
4.4	Costo de reforzamiento con el uso de concreto .....	120
4.5	Costo de reparación de grietas .....	122



4.6	Comparativo de costo de las técnicas de reforzamiento estudiadas .....	124
4.7	Comparación entre las técnicas de reforzamiento .....	126
4.7.1	, Relación de Desempeño de los Sistemas de Reforzamiento .....	127
4.7.2	Relación de costos de los Sistemas de Reforzamiento .....	128
4.7.3	Relación con la Normativa Colombiana.....	129
4.7.4	Relación de Dificultad técnica de Construcción.....	129
4.7.5	Relación de posibilidades de Intervención.....	130
4.7.6	Matriz de relaciones .....	131
<b>5.</b>	<b>ESTUDIO DE CASOS: REHABILITACIÓN DE FACHADAS .....</b>	<b>135</b>
5.1	Caso 1 - Fachada edificio de la caja de empleados de la Policía Nacional...	137
5.1.1	Ficha de datos básicos del caso de estudio .....	139
5.1.2	Fichas de patología .....	140
5.1.3	Reforzamiento con perfiles metálicos .....	142
5.1.4	Costos de reforzamiento .....	143
5.1.5	Seguimiento al Estado de las fachadas.....	144
5.2	Caso 2 - Edificio Central de Operaciones del Acueducto de Bogotá.....	145
5.2.1	Ficha de datos básicos del caso de estudio .....	145
5.2.2	Fichas de patología .....	146
5.2.3	Reforzamiento con perfiles metálicos tubulares .....	148
5.2.4	Reforzamiento con columnetas de concreto .....	149
5.2.5	Costos totales de reforzamiento .....	150
5.2.1	Seguimiento al Estado de las fachadas.....	152
5.3	Caso 3 - Alternativa con mampostería pos-tensada .....	153
5.3.1	Reforzamiento con tensores metálicos.....	153
5.3.2	Memorias de diseño .....	154
5.3.3	Costos de reforzamiento .....	158
5.4	Caso 4 - IED Country Sur.....	160
5.4.1	Ficha de datos básicos del caso de estudio .....	160
5.4.2	Fichas de patología .....	161
5.4.3	Mampostería parcialmente reforzada .....	163
5.4.4	Diseño de elementos no estructurales.....	165
5.4.5	Costos de reforzamiento .....	167
5.4.6	Seguimiento al Estado de las fachadas.....	169

5.5	Caso 5 - Central Telefónica ETB- Chicó.....	170
5.5.1	Ficha de datos básicos del caso de estudio .....	170
5.5.2	Ficha de patología .....	171
5.5.3	Reforzamiento con malla electro soldadas y pañete .....	172
5.5.4	Reforzamiento con la estructura del revestimiento de aluminio y polietileno .....	173
5.5.5	Costos de Reforzamiento .....	174
5.5.6	Seguimiento al Estado de las fachadas .....	176
5.6	Caso 6 - CED Gustavo Restrepo Sede A .....	177
5.6.1	Ficha de datos básicos del caso de estudio .....	177
5.6.2	Fichas de patología .....	178
5.6.3	Recalce de muros con concreto reforzado .....	180
5.6.4	Confinamiento de mampostería con columnetas y vigas cinta de concreto .....	181
5.6.5	Memorias de Diseño de elementos no estructurales .....	182
5.6.6	Costos de reforzamiento .....	183
5.6.7	Seguimiento al Estado de las fachadas .....	185
5.7	Caso 7 - Villa Salvatoriana .....	186
5.7.1	Ficha de datos básicos del caso de estudio .....	186
5.7.2	Ficha de Patología.....	187
5.7.3	Reforzamiento con láminas de fibra de carbono .....	188
5.7.4	Costos de reforzamiento .....	189
5.7.5	Memorias de cálculo reforzamiento .....	190
5.7.6	Seguimiento al Estado de las fachadas .....	192
<b>6.</b>	<b>PROPUESTA DE UN SISTEMA DE REFORZAMIENTO.....</b>	<b>193</b>
6.1	Antecedentes.....	196
6.2	Reforzamiento de una fachada: Ejemplo de Aplicación del sistema .....	198
6.3	Aspectos Técnicos del sistema .....	201
6.3.1	Proceso de reforzamiento .....	202
6.3.2	Rendimientos de obra .....	212
6.3.3	Facilidad de construcción .....	213
6.4	Aspectos Económicos .....	213
6.4.1	Costos de construcción .....	214

---

6.4.2	Comparación de costos con otros sistemas de reforzamiento.....	215
6.5	Eficiencia del Sistema .....	217
6.6	Aplicativo para pre-dimensionar.....	219
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>221</b>
7.1	Conclusiones .....	221
7.2	Recomendaciones.....	226
7.2.1	Prevención de la expansión restringida .....	227
7.2.2	Prevención de las eflorescencias.....	227
<b>A.</b>	<b>Anexo: Precios resumidos de mampostería sin refuerzo.....</b>	<b>229</b>
<b>B.</b>	<b>Anexo: Análisis de precios unitarios de muros de mampostería no reforzada.....</b>	<b>230</b>
	<b>GLOSARIO .....</b>	<b>233</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>237</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>237</b>

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1-1</b> Ubicación de la Falla Caldas Tear.....	11
<b>Figura 1-2</b> Así quedaría el mapa de amenaza sísmica en Colombia.....	11
<b>Figura 3.1.1</b> Desempeño de un muro nivel de daño y esquema de rehabilitación.	41
<b>Figura 3.1.1-1</b> Posibilidades de reforzamiento en un muro con láminas de FCRP	44
<b>Figura 3.1.1-2</b> Envolvente lasos histeriticos.....	46
<b>Figura 3.1.1-3</b> Envolvente de desplazamientos horizontales relativo entre las partes intermedias de las columnas.....	46
<b>Figura 3.1.2-1</b> Características del muro de ladrillo reforzado con varillas de fibra de vidrio.....	48
<b>Figura 3.1.5-1</b> Ciclo de vida de un recipiente de PET.....	55
<b>Figura 3.2.1-1</b> Configuración de los módulos.....	58
<b>Figura 3.2.1-2</b> Variación del coeficiente sísmico“C” frente a las aceleraciones $A_0$	59
<b>Figura 3.2.1-3</b> Envolvente de la carga lateral máxima, malla y pañete.....	61
<b>Figura 3.2.4-1</b> Deformación de un muro no reforzado y de reforzado con el sistema MAPEWRAP EQ sometidos a cargas de compresión diagonal.....	70
<b>Figura 3.2.4-2</b> Deformación de un muro no reforzado y del reforzado con el sistema MAPEWRAP EQ sometidos a de flexión, por cargas transversales .....	72
<b>Figura 3.3.1-1</b> Ensayo del murete.....	74
<b>Figura 3.3.1-2</b> Curvas de carga y deformación de los muretes.....	75
<b>Figura 3.3.2-1</b> Distribución de las platinas de confinamiento en los dos muretes de prueba.....	76

<b>Figura 3.3.2-2</b> Curvas de carga – deformación de los muretes a y b.....	77
<b>Figura 3.3.3-1</b> Esquema de la instalación de grapas en el muro 2.....	79
<b>Figura 3.4.1-1</b> Esquema del agrietamiento de los muros W – E.....	85
<b>Figura 3.4.1-2</b> Envolvente de carga máxima frente a la aceleración en la base Ao	87
<b>Figura 3.4.2-1</b> Detalle en alzado y corte del reforzamiento de un muro existente mediante realce con concreto reforzado.....	89
<b>Figura 3.5.1-1</b> Comportamiento del muro reforzamiento con inyección de mortero	92
<b>Figura 3.5.2-1</b> Detalle de inserción de varillas de acero en las juntas de un muro de ladrillo.....	95
<b>Figura 5.1-1</b> Plano de la fachada lateral del proyecto ganador del concurso, Fondo de Empleados de la Policía Nacional PONAL.....	137
<b>Figura 5.1-2</b> Planta de nivel principal, del proyecto ganador del concurso, Fondo de Empleados PONAL.....	137
<b>Figura 5.1-3</b> Planta del segundo nivel del proyecto ganador del concurso, Fondo de Empleados PONAL.....	137
<b>Figura 5.1-4</b> Planos de corte del proyecto ganador del concurso, Fondo de Empleados PONAL.....	137
<b>Figura 6.1.1</b> Detalle constructivo del sistema de reforzamiento propuesto - perspectiva isométrica vista desde el interior.....	194
<b>Figura 6.1.2</b> Detalle constructivo del sistema de reforzamiento propuesto - perspectiva isométrica vista desde el interior.....	195
<b>Figura 6.2.1</b> Planta de la casa ubicada en la carrera 18 N° 34-15 Bogotá.....	198
<b>Figura 6.2.2</b> Distribución de las varillas de acero en la fachada principal de la casa ubicada en la carrera 18 N° 34-15 Bogotá.....	199
<b>Figura 6.2.3</b> Distribución de las láminas de acero en la fachada principal de la casa ubicada en la carrera 18 N° 34-15 Bogotá .....	199
<b>Figura 6.2.4</b> Distribución de las varillas de acero en la fachada posterior de la casa ubicada en la carrera 18 N° 34-15 Bogotá la carrera 18 N° 34-15 Bogotá.....	200
<b>Figura 6.2.5</b> Distribución de las láminas de acero en la fachada posterior de la casa ubicada en la carrera 18 N° 34-15 Bogotá .....	200

## Lista de Imágenes

	<b>Pág.</b>
<b>Imagen 3.1.1-1</b> Rehabilitación de muro con láminas FCRP.....	45
<b>Imagen 3.1.1-2</b> Detalle de la rehabilitación de muro con láminas FCRP.....	45
<b>Imagen 3.1.2-1</b> Fisuración del murete IM2 luego del ensayo de carga cíclica coplanar.....	48
<b>Imagen 3.1.2-2</b> Fallas en varillas de fibra de vidrio FRP.....	49
<b>Imagen 3.1.2-3</b> Fallas en varillas de fibra de vidrio FRP.....	49
<b>Imagen 3.1.3-1</b> Métodos TR2 y TR9 aplicados en muros de 2.60 m de largo y 2.30 m de altura.....	52
<b>Imagen 3.1.4-1</b> Modelación del murete no reforzado 1.....	53
<b>Imagen 3.1.4-2</b> Modelación del murete no reforzado 2.....	53
<b>Imagen 3.1.4-3</b> Modelación del murete reforzado con madera 1.....	53
<b>Imagen 3.1.4-4</b> Modelación del murete reforzado con madera 2.....	53
<b>Imagen 3.1.5-1</b> Reforzamiento con láminas de tereftalato de polietileno (PET).	56
<b>Imagen 3.2.1-1</b> Configuración de los módulos de prueba con mallas.....	58
<b>Imagen 3.2.1-2</b> Configuración de los módulos de prueba con mallas.....	58
<b>Imagen 3.2.1-3</b> Proceso de reforzamiento con grapas, malla electro soldada y pañete.....	61
<b>Imagen 3.2.1-4</b> Proceso de reforzamiento con grapas, malla electro soldada y pañete.....	61
<b>Imagen 3.2.1-5</b> Proceso de reforzamiento con grapas, malla electro soldada y pañete.....	61

<b>Imagen 3.2.1-6</b> Proceso de reforzamiento con grapas, malla electro soldada y pañete.....	61
<b>Imagen 3.2.1-7</b> Comportamiento de un muro de mampostería no estructural sin refuerzo.....	63
<b>Imagen 3.1.2-8</b> Comportamiento de un muro de mampostería con refuerzo de malla electrosoldada.....	63
<b>Imagen 3.2.2-1</b> Fijación de las mallas de polímero.....	65
<b>Imagen 3.2.2-2</b> Reforzamientos con malla de polímero y pañete.....	65
<b>Imagen 3.2.2-3</b> Ensayo de paneles a corte-compresión.....	66
<b>Imagen 3.2.2-4</b> Ensayo de paneles a flexión.....	66
<b>Imagen 3.2.3-1</b> Fallas típicas de un muro de mampostería no reforzada.....	67
<b>Imagen 3.2.3-2</b> Fallas típicas de un muro reforzado con bandas de polímero PP-Band .....	67
<b>Imagen 3.2.3-3</b> Ensayos del sistema “PP Band” (antes) .....	68
<b>Imagen 3.2.3-4</b> Ensayos del sistema “PP Band” (después) .....	68
<b>Imagen 3.2.4-1</b> Ensayos del sistema “Mapewrap EQ System” .....	70
<b>Imagen 3.2.4-2</b> Daño por flexión en muro no reforzado.....	71
<b>Imagen 3.2.4-3</b> Fisura por fallo de la base de un muro no reforzado.....	71
<b>Imagen 3.2.4-4</b> Colapso de un muro no reforzado.....	71
<b>Imagen 3.2.4-5</b> Fisura por flexión en muro reforzado llevado hasta la rotura ...	71
<b>Imagen 3.3.1-1</b> Ensayo del murete reforzado con cables metálicos.....	74
<b>Imagen 3.3.2-1</b> Estado de murete de prueba (a) luego de los ensayos cíclicos..	78
<b>Imagen 3.3.2-2</b> Estado de murete de prueba (b) luego de los ensayos cíclicos..	78
<b>Imagen 3.3.4-1</b> Reforzamiento con marcos arriostrados de acero, y perfiles diagonales.....	81
<b>Imagen 3.3.4-2</b> Reforzamiento con marcos arriostrados de acero.....	82
<b>Imagen 3.3.4-3</b> Detalle del reforzamiento con marcos arriostrados de acero....	82

<b>Imagen 3.4.1-1</b>	Detalle del armado de acero de refuerzo.....	85
<b>Imagen 3.4.1-2</b>	Vista general del módulo B.....	85
<b>Imagen 3.4.1-3</b>	Muretes de prueba sobre vigas de concreto.....	86
<b>Imagen 3.4.1-4</b>	Muretes de prueba .....	86
<b>Imagen 3.5.1-1</b>	Reforzamiento con inyección de mortero en la escuela primaria en Minland Texas.....	92
<b>Imagen 3.5.2-1</b>	Secuencia de reforzamiento con introducción de acero.....	96
<b>Imagen 3.5.2-2</b>	Secuencia de reforzamiento con inyección de mortero.....	96
<b>Imagen 3.5.2-3</b>	Secuencia de reforzamiento acero e inyección de mortero.....	96
<b>Imagen 4-1</b>	Perspectiva del reforzamiento.....	104
<b>Imagen 4-2</b>	Detalle constructivo para refuerzo de mampostería de ladrillo..	104
<b>Imagen 4-3</b>	Detalle constructivo para refuerzo de mampostería con perforación vertical en planta y corte.....	104
<b>Imagen 4-4</b>	Perspectiva del reforzamiento.....	105
<b>Imagen 4-5</b>	Detalle constructivo para confinamiento de un muro de bloque de arcilla en perspectiva.....	105
<b>Imagen 4-6</b>	Detalle constructivo para confinamiento de un muro de bloque de arcilla en corte.....	105
<b>Imagen 4.1-1</b>	Reforzamiento de 1 m <sup>2</sup> de un muro de ladrillo con láminas de fibra de carbono.....	107
<b>Imagen 4.1-2</b>	Reforzamiento de 1 m <sup>2</sup> de un muro de bloque con varillas de fibra de vidrio.....	108
<b>Imagen 4.1-3</b>	Reforzamiento de 1 m <sup>2</sup> de un muro de ladrillo con varillas de acero.....	109
<b>Imagen 4.1-4</b>	Reforzamiento con listones de madera.....	110
<b>Imagen 4.1-5</b>	Reforzamiento con Pet reciclado.....	111
<b>Imagen 4.2-1</b>	Reforzamiento con malla electrosoldada.....	112



<b>Imagen 4.2-2</b>	Reforzamiento con malla de polímero.....	113
<b>Imagen 4.2-3</b>	Reforzamiento con polímeros PP – Band.....	114
<b>Imagen 4.2-4</b>	Reforzamiento con tejido de fibra de vidrio.....	115
<b>Imagen 4.3-1</b>	Reforzamiento con cables.....	116
<b>Imagen 4.3-2</b>	Reforzamiento con perfiles de acero.....	117
<b>Imagen 4.3-3</b>	Reforzamiento con grapas de acero y malla electrosoldada.....	118
<b>Imagen 4.3-4</b>	Reforzamiento externo con perfiles de acero.....	119
<b>Imagen 4.4-1</b>	Confinamiento de muros.....	120
<b>Imagen 4.4-2</b>	Recalce de muros .....	121
<b>Imagen 4.5-1</b>	Inyección de mortero grouting.....	122
<b>Imagen 4.5-2</b>	Grout y epoxi intecciones.....	123
<b>Imagen 6.1.1.</b>	Modelo a escala 1:5 construido con ladrillo tolete.....	196
<b>Imagen 6.1.2.</b>	Modelo a escala 1:5 construidos con bloque de arcilla hueco..	196
<b>Imagen 6.3.1.</b>	Demolición de pañetes en mal estado, afectados por humedad	203
<b>Imagen 6.3.2</b>	Preparación de las superficies de contacto de las láminas de acero, con el corte y demolición del pañete.....	203
<b>Imagen 6.3.3.</b>	Anclaje de las láminas de acero a la cimentación de la edif.....	203
<b>Imagen 6.3.4.</b>	Anclaje químico del perno de acero, al cruce de dos platina.....	203
<b>Imagen 6.3.5.</b>	Anclaje de las láminas de acero en los muros de la fachada principal.....	204
<b>Imagen 6.3.6.</b>	Anclaje de las láminas de acero en los muros de la fachada lateral.....	204
<b>Imagen 6.3.7.</b>	Ranura en la zona en la pega - muros de la fachada lateral.....	205
<b>Imagen 6.3.8.</b>	Perforaciones para colocar los estribos de acero abiertos.....	205
<b>Imagen 6.3.9.</b>	Soldadura del estribo a la varilla .....	205
<b>Imagen 6.3.10</b>	Instalación simultanea de los estribos abiertos, a través de las perforaciones y de las varillas, en las ranuras longitudinales.....	206
<b>Imagen 6.3.11</b>	Instalación simultanea de los estribos abiertos, a través de las perforaciones y las varillas, en las ranuras longitudinales, en la fachada lateral.	206
<b>Imagen 6.3.12</b>	Instalación simultanea de los estribos abiertos, a través de las	206

perforaciones y las varillas, en las ranuras longitudinales, en la fachada principal	
<b>Imagen 6.3.13</b> Doblaje de los estribos, amarando las platinas, ubicadas al interior de los muros .....	207
<b>Imagen 6.3.14.</b> Soldadura de un estribo a las platinas .....	207
<b>Imagen 6.3.15</b> Soldadura de los estribos a las platinas.....	207
<b>Imagen 6.3.16</b> Anclaje químico de varillas, en L, con adhesivo epóxico .....	209
<b>Imagen 6.3.17</b> Amarre de la canasta de acero con las varillas el L.....	209
<b>Imagen 6.3.18</b> Amarre de la canasta de acero con las varillas el L.....	209
<b>Imagen 6.3.19</b> Soldadura de las láminas de acero a la armadura de la viga.....	210
<b>Imagen 6.3.20</b> Instalación de la formaleta de madera.....	210
<b>Imagen 6.3.21</b> Fundida de la viga de coronamiento del muro.....	210
<b>Imagen 6.3.22</b> Amarre de malla metálica - vena, sobre, las láminas metálicas	211
<b>Imagen 6.3.23</b> Amarre de malla metálica - vena, sobre, las láminas metálicas	211
<b>Imagen 6.3.24</b> Pañete sobre los muros reforzados, respectivamente.....	211
<b>Imagen 6.5.1.</b> Estado de los muros de la fachada principal, luego del sismo del 10 de marzo de 2015.....	218
<b>Imagen 6.5.2.</b> Estado de los muros de la fachada principal, luego del sismo del 10 de marzo de 2015.....	218
<b>Imagen 6.5.3.</b> Estado de los muros de la fachada lateral, luego del sismo del 10 de marzo de 2015.....	217

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.1</b> Área construida de las ciudades capitales colombianas, 2003...	12
<b>Tabla 1.2</b> Ejemplo de porcentajes de participación en el área construida	13
<b>Tabla 1.3</b> Tabla porcentajes atrapados y de víctimas por tipo estructural	14
<b>Tabla 1.4</b> Análisis del valor presente neto de costos, beneficios e inversión inicial de las medidas estructurales de mitigación .....	14
<b>Tabla A.9.2-1.</b> Grado de desempeño mínimo requerido para elementos no estructurales	21
<b>Tabla 1.5</b> Aplicativo para determinar vulnerabilidad de los muros de fachadas...	29
<b>Tabla I.4.3-1.</b> Grado de supervisión técnica recomendada	35
<b>Tabla 3.1.2</b> Descripción de los muretes ensayados con varillas FRP.....	45
<b>Tabla 3.1.3</b> Resumen de los resultados de la prueba, primera etapa.....	51
<b>Tabla 3.1.4</b> Análisis de precios unitarios -de reforzamiento con listones de madera.....	54
<b>Tabla 3.1.5</b> Ensayos con láminas PET reciclado.....	56
<b>Tabla 3.3.1</b> Comparación de los resultados técnica de grapas vs malla y pañete.....	80
<b>Tabla 3.4.1.</b> Resistencias máximas “w.en kg/cm <sup>2</sup> ”.....	88
<b>Tabla 3.5.4.</b> Eficiencia, ventajas, desventajas y aspectos normativos de los sistemas de reforzamiento.....	98
<b>Tabla 4.6.1.</b> Comparativo de costos, por metro cuadrado de reforzamiento....	125
<b>Tabla 4.7.0.</b> Símbolos usados en las matrices de relación.....	126
<b>Tabla 4.7.1.1.</b> Relación con el aumento de resistencia a cargas laterales.....	127
<b>Tabla 4.7.1.2.</b> Relación con la integridad estructural del sistema.....	127

<b>Tabla 4.7.1.3.</b>	Relación al aporte en carga a la estructura.....	128
<b>Tabla 4.7.2.</b>	Relación de costos con los sistemas de reforzamiento.....	128
<b>Tabla 4.7.3.</b>	Relación de los sistemas de reforzamiento con la normativa.....	129
<b>Tabla 4.7.4.1.</b>	Relación de los sistemas de reforzamiento con la calificación del personal de obra .....	129
<b>Tabla 4.7.4.2.</b>	Relación de los sistemas de reforzamiento con el grado de supervisión requerido .....	130
<b>Tabla 4.7.4.2.</b>	Relación de los sistemas de reforzamiento con el grado de supervisión requerido .....	130
<b>Tabla 4.7.5.</b>	Relación de los sistemas de reforzamiento con la normativa.....	130
<b>Tabla 4.7.6.1</b>	Matriz de relación de los sistemas de reforzamiento, con sus propiedades de desempeño, nivel de costo, aspectos normativos, dificultad técnica y posibilidad de intervención.....	131
<b>Tabla 4.7.6.2</b>	Relación de los sistemas de reforzamiento con la corrección de patologías en muros de fachada.....	132
<b>Tabla 4.7.6.3</b>	Relación de los sistemas de reforzamiento con la resolución de patologías en muros de fachada.....	133
<b>Tabla.6.3.2</b>	Rendimientos de obra, parciales y totales.....	211
<b>Tabla 6.4.1</b>	Costos unitarios y totales del reforzamiento de las fachadas, expresados en pesos Colombianos del año 2015 y en SMMLV.....	213
<b>Tabla 6.4.2</b>	Comparación con otros sistemas de reforzamiento de las fachadas, expresados en pesos Colombianos del año 2015 y en SMMLV .....	215
<b>Tabla 6.6 –</b> de fachada	Aplicativo para pre-dimensionar el reforzamiento para los muros	219

## Lista de Análisis de Precios Unitarios

	<b>Pág.</b>
<b>APU 3.1.4</b> Análisis de precios unitarios del reforzamiento con listones de madera	54
<b>APU 4.0.1</b> Columneta o viga de confinamiento muros (ml)	100
<b>APU 4.0.2</b> Acero de refuerzo, 4.200 Kg/cm <sup>2</sup> (Kg)	101
<b>APU 4.0.3.</b> Anclajes d= 1/2" (un)	101
<b>APU 4.0.4.</b> Anclajes d= 3/8" (un)	102
<b>APU 4.0.5.</b> Dilataciones con icopor e=1.5 cm a=12 cm 9 (ml)	102
<b>APU4.0.6.</b> Bloque de icopor 10 x 10 x 12 cm(un)	103
<b>APU 4.0.7.</b> Mortero fluido tipo grouting en dovelas (ml)	103
<b>APU 4.0.8.</b> Mampostería parcialmente reforzada(m <sup>2</sup> )	104
<b>APU 4.0.9.</b> Mampostería de muros confinados(m <sup>2</sup> )	105
<b>APU 4.1.1.</b> Reforzamiento con láminas de fibras de carbono (m <sup>2</sup> )	107
<b>APU 4.1.2.</b> Reforzamiento con varillas de fibra de vidrio (m <sup>2</sup> )	108
<b>APU 4.1.3.</b> Reforzamiento con varillas de acero (m <sup>2</sup> )	109
<b>APU 4.1.4.</b> Reforzamiento con listones de madera (m <sup>2</sup> )	110
<b>APU 4.1.5.</b> Reforzamiento con PET reciclado (m <sup>2</sup> )	111
<b>APU 4.2.1.</b> Reforzamiento con malla electro soldada (m <sup>2</sup> )	112
<b>APU 4.2.2.</b> Reforzamiento con malla de polímero (m <sup>2</sup> )	113
<b>APU 4.2.3.</b> Reforzamiento con polímero PP Band (m <sup>2</sup> )	114
<b>APU 4.2.4.</b> Reforzamiento con tejido de fibra de vidrio (m <sup>2</sup> )	115

<b>APU 4.3.1.</b>	Reforzamiento con cables (m <sup>2</sup> )	116
<b>APU 4.3.2.</b>	Reforzamiento con perfiles de acero (m <sup>2</sup> )	117
<b>APU 4.3.3.</b>	Reforzamiento con grapas de acero y malla electro soldada (m <sup>2</sup> )	118
<b>APU 4.3.4.</b>	Reforzamiento externo con perfiles de acero (m <sup>2</sup> )	119
<b>APU 4.4.1.</b>	Confinamiento de muros (m <sup>2</sup> )	120
<b>APU 4.4.2.</b>	Recalce de muros de mampostería (m <sup>2</sup> )	121
<b>APU 4.5.1.</b>	Inyección de mortero grouting (m <sup>2</sup> )	120
<b>APU 4.5.2.</b>	Grout y epoxi inyecciones (m <sup>2</sup> )	121

## Lista de Símbolos y Abreviaturas

Abreviatura	Término y/o definición
<b>Aa</b>	coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, para diseño. [2]
<b>As</b>	aceleración máxima en la superficie del suelo estimada como la aceleración espectral correspondiente a un período de vibración igual a cero. [2].
<b>Ap</b>	coeficiente de amplificación dinámica del elemento no estructural. [2].
<b>ax</b>	aceleración horizontal, expresada como un porcentaje de la aceleración de la gravedad, sobre el elemento estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica, o sobre el elemento no estructural, localizado en el piso <b>x</b> . [2].
<b>AFRP</b>	Aramid Fiber Reinforced Polymer - Polímero fabricado con de fibras de aramida
<b>APU</b>	Análisis de Precios Unitarios - Componentes de actividad de construcción
<b>BFRP</b>	Glass Fiber Reinforced Polymer - Polímero fabricado con fibras de basalto
<b>E</b>	fuerzas sísmicas reducidas de diseño ( $E=F_s R$ ) , o ( $E=F_p R_p$ ) , o fuerzas sísmicas reducidas para revisión de la estructura existente y diseño de la ampliación ( $E=F_s R'$ ) [2].
<b>FCRP</b>	Fiber Carbon Reinforced Polymer - Polímero fabricado con fibras de carbono
<b>Fp</b>	fuerza horizontal sobre un elemento estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica, o elemento no estructural, componente o equipo de una edificación, aplicada en su centro de masa. [2].
<b>FRP</b>	Fiber Reinforced Polymer - Polímeros reforzados con fibras
<b>G</b>	aceleración debida a la gravedad ( $g=9.8 \text{ m/s}^2$ ).
<b>GFRP</b>	Glass Fiber Reinforced Polymer -Polímero fabricado a partir de fibras de Vidrio
<b>heq</b>	altura equivalente del sistema de un grado de libertad que simula la edificación.[2]
<b>hi</b>	altura en metros, medida desde la base, del nivel <b>i</b> . [2].
<b>hi , hx</b>	altura en metros, medida desde la base, del nivel <b>i</b> o <b>x</b> . [2].
<b>hn</b>	altura en metros, medida desde la base, del piso más alto del edificio. [2].

- I** coeficiente de importancia dado en A.2.5.2. [2].
- Mp** masa de un elemento o componente, en kg. [2].
- PET** Tereftalato de polietileno -Polímero termoplástico.
- Rp** coeficiente de capacidad de disipación de energía del elemento no estructural y sus sistema de soporte. Se da en las tablas A.9.5-1 y A.9.6-1. [2].
- Sa** valor del espectro de aceleraciones de diseño para un período de vibración dado. Máxima aceleración horizontal de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, para un sistema de un grado de libertad con un período de vibración **T** . Está definido en A.2.6.
- SMMLV:** Salarios mínimos mensuales legales vigentes
- URM** UnReforced Mansory - Mampostería no reforzada
- U.M** Unidad de Medida - Para precios unitarios
- VR** Valor o precio - Para precios unitarios



## Introducción

Ante los eventos sísmicos de las últimas décadas y la pérdida de vidas humanas por el colapso de edificaciones, el desprendimiento y caída de elementos no estructurales, el Gobierno de Colombia expidió la ley 400 de 1997 [1] y el decreto 33 de 1998, mediante los cuales reglamento el diseño y construcción de edificaciones sismo resistentes. Posteriormente actualizó la norma con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-resistente, NSR- 10, en el cual están definidos los parámetros mínimos de resistencia sísmica de las edificaciones y de sus componentes no estructurales. Dentro de las previsiones contenidas en la norma está la obligatoriedad de hacer análisis de vulnerabilidad y reforzamiento sísmico a las edificaciones indispensables para la comunidad, clasificadas dentro de los grupos de importancia de uso III y IV, que fueron construidas antes de su entrada en vigencia.

En el Reglamento NSR 10, también se indica que el desempeño de los elementos no estructurales de las edificaciones indispensables para la comunidad debe ser SUPERIOR, sin distinguir si se trata de una edificación nueva o construida antes de su entrada en vigencia.

No está indicada la manera en que se deben reforzar los elementos de fachada, para lograr el desempeño esperado, ante eventos sísmicos. Es importante que estos elementos no sufran alteraciones y se mantengan estables, admitiéndose solo daño moderado. Normalmente, los elementos no estructurales carecen del equilibrio, por sí solos, por lo que deben estar sujetos a la estructura portante de la edificación, interfiriendo de la menor forma con su comportamiento elástico.

En rehabilitación sísmica, se opera sobre edificios existentes, con sus características propias, que condicionan las intervenciones. Es previsible que al mejorar el desempeño estructural, se pueden empeorar simultáneamente, aspectos estéticos o condiciones de funcionalidad o habitabilidad, si no se toman en consideración estos aspectos.

Entonces surge la pregunta ¿se pueden rehabilitar las fachadas y sus elementos no estructurales, de tal manera que se logre obtener los niveles de prestación y eficiencia solicitados en el Reglamento NSR-10 [2] y en el decreto 20 de 1995, [3]?, o ¿será mejor optar por la demolición y construcción de fachadas nuevas? Para responder a esta pregunta, se consultó la información disponible sobre las diversas técnicas de reforzamiento de mampostería, en investigaciones académicas y gubernamentales, especializadas. Se resumieron los aspectos técnicos más relevantes, los procesos constructivos y las conclusiones dadas por los autores. A partir de esta información, se elaboraron análisis de precios unitarios, para cada técnica estudiada, con el fin de hacer un comparativo técnico y económico entre ellas.

La presente investigación también se ha enfocado en el estudio de casos de rehabilitación sísmica de fachadas de edificaciones indispensables para la comunidad, adelantadas en nuestro medio, a partir de la documentación facilitada por las empresas encargadas de los procesos de reforzamiento. Esta metodología ha permitido estudiar los aspectos técnicos y económicos de diferentes sistemas de reforzamiento implementados en cada caso. También se consideró la renovación total de la fachada, empleando nuevos materiales, como referencia comparativa con los otros sistemas de reforzamiento.

Para corroborar la eficiencia de las técnicas estudiadas se hizo seguimiento al estado físico de las fachadas, como una manera de establecer su correcto desempeño, frente a sismos, posteriores al reforzamiento, como los ocurridos el 24 de mayo de 2008, de 5.5 grados, o el 10 de marzo de 2015, de 6.6 grados en la escala de Richter y de esta manera identificar eventuales daños o fallas del sistema. Al recoger y documentar estas valiosas experiencias, también se logró identificar y caracterizar diversas patologías en las mamposterías, derivadas de prácticas constructivas inadecuadas.

A partir del conocimiento adquirido, se ha propuesto un sistema de reforzamiento para fachadas de ladrillo a la vista, que sea aplicable en procesos de rehabilitación estructural de edificaciones, en Colombia. También se documenta un caso en donde se tuvo la oportunidad de implementar este sistema de reforzamiento, lo cual dio la oportunidad de evaluar el sistema en cuanto a: facilidad constructiva, rendimientos de obra y costos del sistema. La eficiencia se comprobó, con la inspección de las fachadas, luego del sismo del 10 de marzo de 2015, donde se verificó que no hubo daños.

# 1.IDENTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

## 1.1 Identificación

Se estima que el 86% de la población Colombiana habita en centros urbanos ubicados en zonas con amenaza sísmica, catalogadas como media o alta. “De las cabeceras municipales, 475, correspondientes aproximadamente al 35% de la población colombiana, se encuentran en zonas de amenaza sísmica alta; 435, equivalente al 51% de la población, en zonas de amenaza sísmica intermedia; y 151, equivalente al 14% de la población, en zonas de amenaza sísmica baja” [4]. Esta situación motivó la expedición La Ley 400 de 1997, la cual reglamentó los aspectos fundamentales para que el país tenga a su disposición una reglamentación de construcción sismo resistente moderna y actualizada. Con base a esta potestad fue expedido Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente del año 2010 o Reglamento NSR-10, cuyos principales objetivos están descritos, en sus numerales:

- **A.1.2.2.1** — *Reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas, y defender en lo posible el patrimonio del Estado y de los ciudadanos.*
- **A.1.2.2.2** — *Una edificación diseñada siguiendo los requisitos de este reglamento, debe ser capaz de resistir, además de las fuerzas que le impone su uso, temblores de poca intensidad sin daño, temblores moderados sin daño estructural, pero posiblemente con algún daño a los elementos no estructurales y un temblor fuerte con daños a elementos estructurales y no estructurales pero sin colapso.*
- **A.1.2.2.5** — *Para las edificaciones indispensables y de atención a la comunidad, como las define el Capítulo A.2 del presente Reglamento, se espera que el daño producido por movimientos sísmicos de características similares a los movimientos sísmicos de diseño prescritos en él sea reparable y no sea tan severo que inhiba la operación y ocupación inmediata y continuada de la edificación [2].*

El reglamento - NSR 10 contiene una serie de disposiciones para los elementos no estructurales, los cuales están descritos en su CAPÍTULO A.9 – ELEMENTOS NO

ESTRUCTURALES; y define requisitos para el refuerzo y rehabilitación sísmica de edificaciones, en el capítulo A.10.9 — REHABILITACIÓN SÍSMICA, cuya aplicabilidad fue definido en el numeral A.10.9.1 — ALCANCE — *Los requisitos de la presente sección aplican para las siguientes edificaciones:*

- (a) Las designadas por la Ley 400 de 1997 y sus decretos reglamentarios, como de obligatoria actualización.*
- (b) Las que deben ser reforzadas por cambio de uso o modificaciones que exigen intervención estructural.*
- (c) Las que hayan sido dañadas por sismos, y*
- (d) Las que su propietario desee actualizar voluntariamente, conforme al presente reglamento [2].*

La exigencia de comportamiento y eficiencia de los elementos no estructurales, de las edificaciones construidas antes de la expedición de la norma, está reglamentada en el numeral A.10.9.2 — RESISTENCIA Y CAPACIDAD DE FUNCIONAMIENTO REQUERIDAS SEGÚN EL USO Y LA EDAD DE LA EDIFICACIÓN. Las disposiciones especiales para la Intervención de edificaciones indispensables y de atención a la comunidad están contenidas en el numeral A.10.9.2.1 del Reglamento NSR-10

En consecuencia de estas previsiones se genera la necesidad de reforzar las fachadas de las edificaciones clasificadas dentro de los grupos de Uso III y IV, construidas en Colombia, antes de la entrada en vigencia del precitado Reglamento.

Existen otras razones para la rehabilitación integral de las fachadas envolventes arquitectónicas de las edificaciones, relacionadas con los procesos de cambio de uso, ampliación, remodelación y mantenimiento. *Etimológicamente el término rehabilitar equivale a otorgar competencia, idoneidad y aptitud para un fin determinado. Por consiguiente, en el caso de la rehabilitación edilicia y urbana, entendemos como tal a las acciones arquitectónicas, urbanísticas y sociales que permiten mejorar la calidad de vida de los habitantes y la capacidad de reutilización de esta arquitectura y de estos espacios dentro de niveles de habitabilidad, salubridad y confort convenientes [6]* Dentro de esta visión, está enmarcado el ACUERDO 20 DE 1995, Modificado por el Decreto Distrital No. 74 de 2001, *por el cual se adopta el Código de Construcción del Distrito Capital de Bogotá*, en el cual encontramos algunas disposiciones aplicables al reforzamiento y

rehabilitación de Edificaciones. En los artículos que se citan a continuación, están contenidos los objetivos de este acuerdo:

- **Artículo 7º.-** *El propósito del Código de construcción del Distrito Capital de Santa Fe de Bogotá, es el de establecer un conjunto de normas básicas a las cuales deben ceñirse las edificaciones y obras de infraestructura en cuanto a su realización, alteración y uso para que garanticen estabilidad y resistencia y preserven la seguridad, la salubridad y el bienestar de la comunidad. **Parágrafo.-** El uso para el cual fue diseñada y aprobada una edificación, no debe cambiarse sin la autorización previa del Departamento Administrativo de Planeación Distrital, siempre y cuando este nuevo uso enmarque dentro de las normas vigentes. [3]*
- **PARÁGRAFO A.3.7.1.2.** *Las reparaciones, alteraciones y adiciones necesarias para la preservación, restauración, rehabilitación o uso continuado de una edificación pueden llevarse a efecto sin el cumplimiento de todas las normas del presente Código, cuando la edificación haya sido señalada oficialmente como objeto de conservación histórica, arquitectónica o urbanística. En estos casos la Secretaría de Obras Públicas deberá actuar con la asesoría del Departamento Administrativo de Planeación Distrital y de la junta de protección del patrimonio urbano, según lo contempla el Acuerdo 7 de 1979. La Secretaría de Obras Públicas deberá exigir que se corrija cualquier situación de inseguridad en la obra y, en todo caso, la edificación restaurada debe mejorar las condiciones de seguridad estructural, de salubridad y de protección contra el fuego existentes anteriormente en la edificación. [3]*

Este reconocimiento de incompatibilidad de aplicación de la normativa con la función especial, permite la mejora de las condiciones de seguridad estructural, como compensación, para poder hacer viable la intervención sobre edificios patrimoniales.

## 1.2 Planeamiento de la investigación

La presente la investigación se ha enfocado en estudio de casos de reforzamiento de edificaciones fundamentales para la sociedad Colombiana. Se estudiaron las diversas técnicas implementadas para el reforzamiento de fachadas de mampostería. Para la elección de los casos de estudio, se fijaron los siguientes criterios:

- Que la Edificación y sus componentes no estructurales de fachada haya sido objeto de rehabilitación sísmica según los lineamientos dados el capítulo A.10.9 del Reglamento NSR-10, en donde se establece *“Si la edificación perteneciente a los grupos de uso III o IV ya fue intervenida durante la vigencia del Reglamento NSR-98 para cumplir con él y si se mantiene el mismo grupo de uso, no requiere obligatoriamente ser intervenida de nuevo para los requerimientos del presente Reglamento”* [2].
- Que la tipología de la edificación corresponda a fachadas de mampostería acoplada a estructuras de concreto reforzado.
- Que se cuente con facilidades para hacer seguimiento al comportamiento de la fachada, frente a sismos ocurridos luego de la rehabilitación, como el del 24 de mayo de 2008- de 5.5 grados, en la escala de Richter o el del 10 de marzo de 2015, de 6,6 grados en la escala de Richter, para poder identificar eventuales fallas o nuevas patologías.
- También se consideró la renovación total de la envolvente, con nuevos materiales, como alternativa de rehabilitación y referencia comparativa con los otros sistemas de rehabilitación.

Se ha desarrollado un sistema de reforzamiento de fachadas de ladrillo a la vista consistente en colocar varillas de acero a lo largo de las juntas de mortero, al lado externo del muro de ladrillo, ancladas mediante ganchos a un sistema de platinas adheridas a la parte interior del muro y que los anclan a las placas. Finalmente se hace un revoque rico en cemento. El sistema se ha implementado en la rehabilitación integral de una edificación de dos pisos, construida en el año 1946 y esto ha permitido hacer una evaluación técnica y económica de este sistema.

### 1.3 Objetivos

Se ha propuesto como Objetivo General: Estudio técnico y económico de diversas técnicas de reforzamiento de fachadas de mampostería, aplicables en procesos de rehabilitación y reforzamiento de edificaciones, en Colombia.

Para lograr el objetivo general del proyecto de investigación, se han propuesto el cumplimiento de los siguientes objetivos específicos:

- Identificación de los requerimientos normativos aplicables al reforzamiento y rehabilitación de los elementos constitutivos de las fachadas de mampostería, contenidos en el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes - NSR-10 y en el Código de Construcción del Distrito Capital de Bogotá
- Análisis comparativo de costo y eficiencia de diferentes técnicas de rehabilitación y reforzamiento de muros de fachada, a partir de la información contenida en investigaciones especializadas en el tema.
- Estudiar y documentar procesos reforzamiento de fachadas de mampostería de edificios rehabilitados bajo los parámetros establecidos en las Normas Colombianas de diseño y Construcción Sismo-Resistente, revisar su estado luego de los sismos del 25 de mayo de 2008 y del 10 de marzo de 2015 para corroborar su correcto desempeño frente al efecto sísmico.
- Proponer un sistema de reforzamiento de fachadas aplicable en procesos de rehabilitación de edificaciones, en Colombia.
- Hacer recomendaciones que contribuyan al mejoramiento de nuestras prácticas y procesos constructivos.

Se espera que la investigación contribuya al conocimiento de las técnicas de rehabilitación de fachadas de mampostería, y que sirva como referencia en futuros procesos de reforzamiento estructural, de edificaciones indispensables para la comunidad, a nivel Nacional.

## 1.4 Formulación

Teniendo en cuenta que la aplicación de las disposiciones del Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (NSR-10), para edificaciones construidas con anterioridad a la expedición del reglamento, genera la necesidad de someterlas a procesos de actualización estructural integral. Para lo cual, se deben adelantar estudios de vulnerabilidad sísmica a fin de establecer el nivel de cumplimiento de los componentes de las edificaciones, identificar y corregir las deficiencias mediante acciones reforzamiento estructural.

Los sismos ocurridos en el País, han mostrado que los muros y demás elementos de fachada, han sido altamente peligrosos para la población, por lo cual es fundamental hacer la rehabilitación estructural, integral de la edificación. Por estas razones la investigación se ha enfocado en identificar los aspectos técnicos y económicos de los sistemas de reforzamiento de muros, objeto de investigaciones institucionales o académicas que se describen en el capítulo tercero y la aplicabilidad de estas técnicas, en nuestro medio Colombiano.

Se trató de abarcar una amplia gama de técnicas de reforzamiento teniendo en cuenta que en el Título III, Capítulo II de la ley 400 de 1997, está previsto el uso de otros materiales y métodos alternativos, diferentes a los indicados en la ley, para el diseño y construcción de los elementos no estructurales, siempre y cuando estos sistemas cuenten con el aval de la Comisión Asesora Permanente Para El Régimen de Construcciones Sismo Resistentes. Es fundamental poder establecer comparativos, entre los diversos sistemas, para facilitar la toma de decisiones en procesos de rehabilitación estructural de edificaciones. Con el estudio de casos se pudo ver la manera de aplicar los sistemas de reforzamiento; la combinación de varios sistemas para adaptarlos a las características de las fachadas, así como las eventuales afectaciones. Se pudo comprobar su eficiencia con la verificación del nivel de daño sufrido, luego de dos sismos de mediana intensidad.

Teniendo en cuenta la gran cantidad de edificaciones que no cumplen con los niveles de resistencia mínimos requeridos, se justifica continuar investigando nuevas herramientas, para diagnóstico de deficiencias y el desarrollo de sistemas de reforzamiento, adecuados a las características propias de la arquitectura Colombiana. Esta arquitectura se ha caracterizado por producir fachadas de ladrillo a la vista, de grandes dimensiones.



## 1.5 Delimitación y alcance

En concordancia con los objetivos trazados, se identificaron los requerimientos de carácter normativo, en materia de exigencia de desempeño de los elementos no estructurales de fachada y se incluye una herramienta que permite establecer el nivel de cumplimiento de fachadas de edificaciones existentes. Se estudiaron las técnicas de reforzamiento, aplicables en la rehabilitación sísmica de las mamposterías de fachada de edificaciones en Colombia y en consecuencia, se adelantaron las siguientes acciones:

- Recopilación y organización la información técnica disponible, sobre diversos sistemas de reforzamiento de mampostería, proveniente de las investigaciones adelantadas en los países líderes en el desarrollo de la Ingeniería Sísmica. Como interesa establecer parámetros comparativos, se prestó atención en recopilar información sobre especificaciones técnicas de materiales, rendimientos y costos.
- Se ha recogió y actualizó la información sobre cantidades y rendimientos de obra, para establecer el costo comparativo de las tecnologías de reforzamiento.
- Elaboración de cuadros comparativos de eficiencia y costo de los diferentes sistemas de rehabilitación y reforzamiento de mampostería. Los rendimientos de obra se establecieron a partir de sistemas constructivos similares.
- Desarrollo de una matriz de relaciones, que permite medir el grado de intensidad de relación de estas técnicas y sus propiedades funcionales, de eficiencia estructural, de costos, de facilidad de construcción y aspectos normativos. Otra matriz; establece el grado de relación con la corrección de patologías
- Recopilación de experiencias de reforzamiento y fijación de elementos de fachada, a partir del estudio de procesos de reforzamiento de fachadas, en Bogotá. Se obtuvieron datos sobre los rendimientos y costos de estos sistemas.
- Seguimiento al estado físico, de las fachadas reforzadas, luego de la ocurrencia de los eventos sísmicos, posteriores a su intervención, para evaluar su desempeño.

También se ha propuesto un sistema de reforzamiento, el cual está siendo aplicado a en el proceso de rehabilitación de una edificación, en Bogotá. Se recogen los aspectos técnicos y económicos de la aplicación de este sistema.

## 1.6 Justificación

Recientes estudios de amenaza en Colombia se han realizado con base en el modelamiento de fallas geológicas y nidos sísmicos. Este es el caso de las Investigaciones lideradas por el profesor Omar Darío Cardona, quien afirma que los parámetros de amenaza sísmica manejados hasta hoy deberían cambiar para algunas de nuestras Ciudades. En el artículo *Nueva falla geológica altera mapa de amenaza sísmica en Colombia* se indica: “Recientemente, el Grupo de Geofísica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Texas en Austin dio a conocer un innovador modelo geológico que fue evaluado en Manizales, y sus resultados varían el nivel de amenaza sísmica que se conocía para algunas ciudades del país. La nueva propuesta tectónica evidencia una división del territorio en dos segmentos que se han alejado aproximadamente 240 kilómetros durante los últimos 10 millones de años (Figura 1-1), y la existencia de una gran fractura o falla de la litósfera denominada *Caldas Tear*. Tal fractura llega a profundidades de más de 150 km y atraviesa la Región Andina desde el Pacífico hasta el Piedemonte Llanero, es decir, de occidente a oriente. Debido a su ubicación y comportamiento, podría haber causado los sismos de Tauramena en 1995 (de magnitud 6,5), de Armenia en 1999 (magnitud 6,2) y el terremoto de Honda–Mariquita en 1805” [5].

El artículo concluye lo siguiente: “Este fenómeno, la sismicidad y la reinterpretación del modelo de fallas geológicas, como consecuencia de la fractura tectónica, tendrían incidencia en el marco de la planificación territorial y cambios en las exigencias de sismo resistencia” Los resultados de la nueva evaluación indican que ciudades como Manizales y Tunja tendrían un mayor nivel de riesgo debido a su cercanía con esta fractura transversal a las tres cordilleras” [5]. Según lo anterior, para las nuevas microzonificaciones de estas ciudades debería tenerse en cuenta el nuevo modelo geológico propuesto. En palabras del profesor Cardona: “Esto se traduciría en una mayor exigencia desde el punto de vista de la sismo resistencia y un mayor riesgo para las edificaciones” [5]. Una vez identificado el cambio en el nivel de riesgo sísmico, es fundamental además de actualizar los requisitos de las normas de seguridad, valorar las vulnerabilidades de las edificaciones y corregirlas, mediante acciones de reforzamiento que las hagan capaces de afrontar el nivel amenaza real.

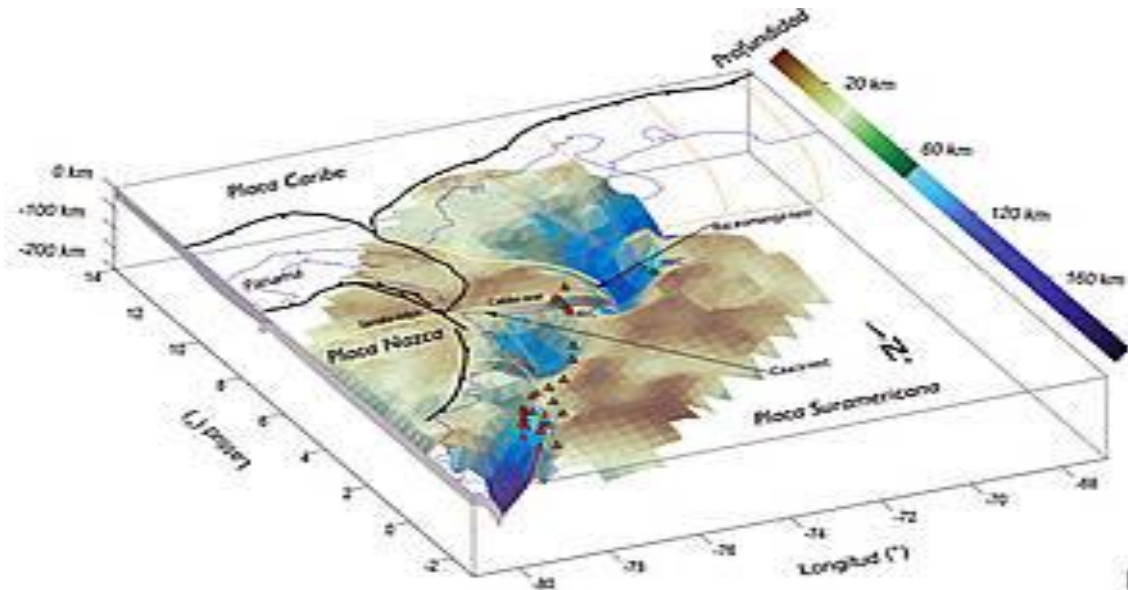


Figura 1-1: Ubicación de la Falla Caldas Tear. Fuente: VARGAS, C. Nueva falla geológica altera mapa de amenaza sísmica en Colombia. *UN Periódico*. 7 de mayo de 2011, 144.

Teniendo en cuenta la información, contenida en el estudio, debería modificarse el Mapa de zonificación del riesgo sísmico, contenido del Reglamento Sismo Resistente, NSR-10 contenido en , *Capítulo A.2 — Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño*. El mapa quedaría, según se ilustra en la Figura 1-2.

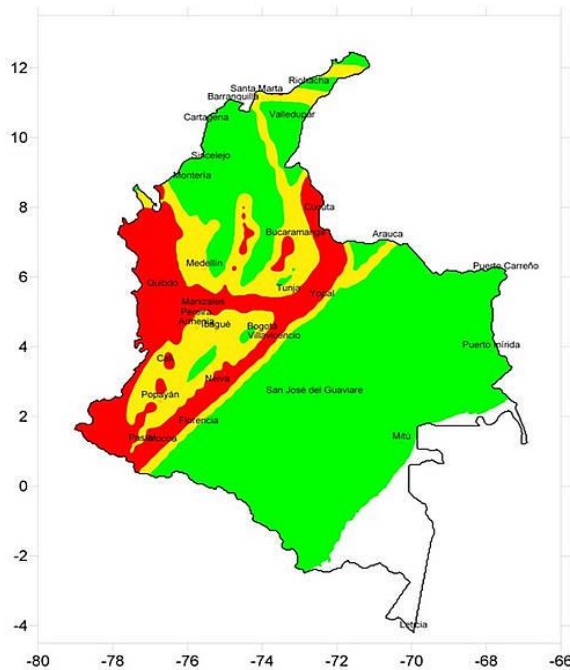


Figura 1-2: Así quedaría el mapa de amenaza sísmica en Colombia. Fuente: VARGAS, C. Nueva falla geológica altera mapa de amenaza sísmica en Colombia. *UN Periódico*. 7 de mayo de 2011, 144.

La amenaza sísmica está determinada por dos factores, el primero es el grado de severidad del movimiento del suelo, y el segundo, es el nivel la vulnerabilidad de edificaciones e infraestructura, frente al movimiento.

Para visualizar el grado de vulnerabilidad de las ciudades Colombianas y en particular de Bogotá, se hace referencia al informe "Análisis de riesgo de desastres extremos en Colombia con fines de valoración de la exposición física" [6] del profesor Omar Darío Cardona y otros en donde se hace una estimación del área construida de las ciudades principales. Los valores fueron ajustados según estadísticas de la construcción de CAMACOL, para llevarlos a año 2005. La información se resume en la tabla 1.1.

Ciudad	Área construida [Km <sup>2</sup> ]	Ciudad	Área construida [Km <sup>2</sup> ]
Bogota	195,0	San José del Guaviare	0,5
Leticia	0,5	Neiva	6,1
Medellín	60,9	Riohacha	2,1
Arauca	1,3	Santa Marta	7,3
San Andrés	1,7	Villavicencio	7,7
Barranquilla	26,1	Pasto	7,1
Cartagena	15,2	Cúcuta	13,0
Tunja	4,0	Mocoa	0,3
Manizales	10,6	Armenia	7,0
Florencia	2,5	Pereira	11,5
Yopal	1,7	Bucaramanga	13,4
Popayán	5,4	Sincelejo	3,6
Valledupar	6,4	Ibagué	11,5
Quibdo	1,8	Cali	51,0
Montería	5,5	Mitu	0,1
Puerto Inirida	0,2	Puerto Carreño	0,3

Tabla 1.1: Área construida de las ciudades capitales colombianas, AÑO 2003.

Fuente: CARDONA, O. y OTROS. Análisis de riesgo de desastres extremos en Colombia con fines de valoración de la exposición física. *Informe del estudio sobre definición de la responsabilidad del Estado, su exposición ante desastres naturales y diseño de mecanismos para la cobertura de los riesgos residuales del Estado*. Bogotá, D.C.: ACCI, DNP, Banco Mundial, 2005.

Según se indica en la tabla 1.2, más del 22% del área construida en Bogotá, corresponde a construcciones informales de bahareque, tapia pisada o mampostería no reforzada (en los estratos 1 y 2) y cerca del 30%, pertenece a la tipología de edificios de pórticos de concreto reforzado, con mamposterías acopladas, las cuales son vulnerables, en temblores fuertes. Solo 48% del área edificada en Bogotá, cuenta con mampostería confinada o reforzada, el restante 52%, resulta altamente vulnerable.

Bogotá	Área construida 214,5 Km <sup>2</sup>	Participación				
		Zona 1 24	Zona 2 9	Zona 3 27	Zona 4 17	Zona 5 23
		Porcentajes				
Público	Mampostería confinada o reforzada	2	2	1	2	1
	Edificio de pórticos de concreto reforzado con muros de mampostería de 3 a 5 pisos	2	2	3	2	2
Estratos 1 y 2	Edificio de pórticos de concreto reforzado con muros de mampostería de 5 a 12 pisos	1	1	1	1	1
	Construcciones informales (bahareque o tapia pisada)	10	6	3	5	8
Estratos 3 y 4	Mampostería simple o adobe	35	10	5	15	15
	Mampostería confinada o reforzada	30	7	2	10	10
Estratos 5 y 6	Mampostería confinada o reforzada	6	27	36	30	40
	Edificio de pórticos de concreto reforzado con muros de mampostería de 3 a 5 pisos	5	16	26	25	23
Estratos 5 y 6	Mampostería confinada o reforzada	5	10	14	5	0
	Edificio de pórticos de concreto reforzado con muros de mampostería de 3 a 5 pisos	4	10	6	3	0
	Edificio de pórticos de concreto reforzado con muros de mampostería de 5 a 12 pisos	0	9	3	2	0

Tabla 1.2: Ejemplo de porcentajes de participación en el Área Construida, por zona y por estrato (Porcentajes) Fuente: CARDONA, O. y OTROS. Análisis de riesgo de desastres extremos en Colombia con fines de valoración de la exposición física. *Informe del estudio sobre definición de la responsabilidad del Estado, su exposición ante desastres naturales y diseño de mecanismos para la cobertura de los riesgos residuales del Estado*. Bogotá, D.C.: ACCI, DNP, Banco Mundial, 2005.

Un estudio reciente, del Banco Mundial y de la Universidad de los Andes hace una nueva evaluación del riesgo sísmico para la ciudad de Bogotá, con el propósito de desarrollar un plan de emergencias y mejorar la capacidad de respuesta de las autoridades. Mediante modelación probabilística, los autores crearon cinco escenarios críticos de daño, por sectores de la ciudad, en infraestructura, edificaciones, afectaciones para la población y de pérdidas económicas. La creación escenarios se hizo en consideración a las fallas geológicas cercanas, el historial de los sismos y el inventario de edificaciones. *“El análisis de los tipos de daño predominantes, desde una perspectiva de la ingeniería permite, por ejemplo mejorar los procedimientos para la evaluación del daño pos desastre y contar con una logística y una capacidad de reacción adecuadas después de la ocurrencia del evento, para restablecer el funcionamiento de componentes importantes en el menor tiempo posible”* [7].

Los autores del estudio, hacen la estimación de heridos y muertos, a partir de la cifra probable de personas atrapadas en las edificaciones, la cual está relacionada con el nivel de daño probable de la edificación y del número de ocupantes en el momento del evento sísmico. La tabla 1.3 muestra como los mayores porcentajes de afectación, sobre la población, se darían en edificaciones correspondientes a las tipologías de estructuras de reticular celulado y a la de pórticos de concreto con mamposterías acopladas.

ID	Valor	Atrapados [%]	Fatalidad [%]
0	Lotes sin área construida	0	0
1	Adobe o tapia pisada	0,05	0,15
2	Bahareque	0,02	0,1
3	Mampostería simple	0,05	0,15
4	Mampostería confinada	0,05	0,15
5	Mampostería reforzada	0,05	0,15
6	Pórticos de concreto + Mampostería	0,3	0,5
7	Pórticos de concreto + Divisiones ligeras	0,3	0,5
8	Pórticos de concreto + Muros de concreto	0,2	0,4
9	Reticular celulado	0,5	0,5
10	Muros de concreto	0,15	0,3
11	Prefabricados de concreto	0,1	0,15
12	Pórticos de acero	0,02	0,1
13	Bodegas luces cortas	0,07	0,2
14	Bodegas luces medias	0,07	0,3
15	Bodegas luces largas	0,07	0,3
16	Iglesias	0,2	0,4
17	Coliseos y estadios	0,2	0,4
18	Mampostería semiconfinada	0,05	0,15

Tabla 1.3: Tabla de Porcentajes de atrapados y de víctimas fatales por cada tipo estructural Fuente: YAMIN, L.E y OTROS. Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre: el caso de Bogotá, Colombia: Bogotá, D.C.: Banco Mundial, Universidad de los Andes, 2013.

Según los autores, la manera más efectiva para disminuir la intensidad y frecuencia de las amenazas y por ende, disminuir el riesgo físico, consiste en realizar obras de ingeniería, o realizar trabajos de reconstrucción, rehabilitación y refuerzo estructural para reducir la vulnerabilidad propia de los componentes de infraestructura expuesta. La tabla 1.4, refleja los costos y beneficios futuros que se pueden obtener luego de invertir en programas de ingeniería para reducir la vulnerabilidad de las edificaciones y la infraestructura. Las barras representan el costo de las pérdidas directas de bienes

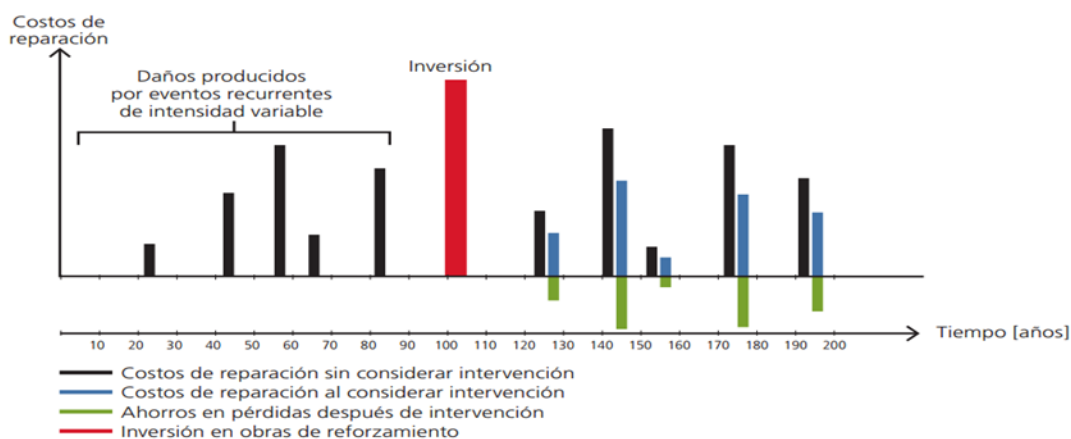


Tabla 1.4: Análisis del valor presente neto de costos, beneficios e inversión inicial de las medidas estructurales de mitigación Fuente: YAMIN, L.E y OTROS. Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre: el caso de Bogotá, Colombia: Bogotá, D.C.: Banco Mundial, Universidad de los Andes, 2013

No sobra recordar que en el Terremoto ocurrido en el eje cafetero, el 25 de enero de 1,999, se vieron afectadas aproximadamente 50.000 edificaciones y murieron 1,125 personas, en su mayoría a causa de fallas de los elementos no estructurales. Al respecto, en la conferencia *“Nuevos Sistemas y materiales para el Diseño y Construcción de Muros Divisorios y de Fachadas en Edificaciones”* del Ingeniero Daniel Rojas Mora, indica: *“ En este nuevo evento y se observaron daños a todo nivel, desde pequeñas fisuras hasta el colapso de muros no-estructurales de cerramientos y divisorios.*

*Los graves daños presentados en este y otros eventos se han asociado principalmente a viviendas de uno y dos pisos construidas sin los requisitos sísmicos de las NSR-98 y edificaciones de varios pisos con sistema estructural a base de pórticos de concreto reforzado, con muros divisorios y fachadas construidos en mampostería no reforzada, sin los requisitos especiales establecidos por el Reglamento para este tipo de elementos. En términos generales se observó que las viviendas de uno y dos pisos construidas siguiendo los requisitos de las NSR-98 no sufrieron daños significativos. Por otro lado, aunque algunos edificios de altura en pórticos de concreto reforzado fueron diseñados y construidos con las normas NSR-98, los muros divisorios y de fachadas no se construyeron siguiendo los requisitos del Capítulo A-9 de la NSR-98 con lo cual su comportamiento fue en general deficiente.*

*Lo sucedido en el terremoto de Armenia reafirmó la necesidad de corregir lo que se convirtió en una práctica usual y que se refleja en la incompatibilidad en el comportamiento de los muros divisorios y fachadas, que son en general rígidos y frágiles, que se construyen sobre pórticos resistentes a momentos, que son en general flexibles y dúctiles. Estas características tan diferentes generan un alto riesgo asociado al potencial daño que pueden causar al caer sobre los habitantes de la vivienda o sobre los transeúntes de una calle” [8].*

El panorama de riesgo sísmico del País y la vulnerabilidad en que están, la gran mayoría de nuestras construcciones, justifica la investigación y desarrollo de alternativas de reforzamiento, de las mamposterías simples de fachada. En esta línea se ha enfocado la presente investigación, en la cual se ha registrado el estado del arte de los sistemas de mampostería, se ha valorado el costo de los mismos en pesos Colombianos actuales, se ha propuesto un sistema de reforzamiento para fachadas de ladrillo a la vista y se ha evaluado el comportamiento de edificios rehabilitados, frente al fenómeno sísmico.

## 1.7 Marco Teórico

La presente investigación, se ha enfocado en la rehabilitación sísmica de las mamposterías de fachada, haciendo énfasis en las técnicas de reforzamiento, preventivo y correctivo, por lo cual esta enmarcada en el campo de la Rehabilitación edilicia, que en palabras de una experta *“Comprende obras que tienen como fin la recuperación y la reintegración física de una construcción y la búsqueda de soluciones para las anomalías constructivas, funcionales, higiénicas y de seguridad acumuladas a lo largo de los años, procediendo a realizar una modernización que mejore su desempeño hasta cumplir con los actuales niveles de exigencia”* [9].

En este orden de ideas, la rehabilitación estructural de un edificio se puede definir como el conjunto de modificaciones e intervenciones necesarias para mejorar el desempeño, del conjunto, de sus componentes estructurales y no estructurales, frente a los sismos.

Desde un punto de vista económico, está demostrado que las inversiones en reforzamiento se traducen en ahorro a futuro por disminución en pérdidas de vidas y daños al patrimonio. Adicionalmente, es más económico y amigable con el medio ambiente, rehabilitar una fachada existente que demolerla y construir, una nueva, en su lugar. Esto se ha podido comprobar con los casos de estudio adelantados, donde se hicieron evidentes los beneficios de rehabilitar las antiguas edificaciones, modernizando sus acabados, instalaciones técnicas y servicios.

Los casos estudiados corresponden a reforzamientos de fachada, de edificaciones fundamentales para la sociedad. Estos se adelantaron con diversas técnicas y materiales variados, por lo que se consideró importante, recopilar y evaluar algunas de las experiencias estudiadas y verificar, si efectivamente, se consiguió re-potencializar el desempeño de las fachadas, hasta alcanzar los parámetros de resistencia, establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10.

En los procesos de reforzamiento estructural de edificaciones, que se ha tenido la oportunidad de conocer, mediante el estudio de casos, ha sido evidente la gran afectación, que estos han generado, sobre las mamposterías y acabados, derivados del proceso constructivo. En varios de ellos, se hizo necesaria la renovación total de las fachadas y de los acabados interiores.



Se ha tratado de identificar los criterios técnicos, seguidos en las diferentes intervenciones, por lo cual se analizaron y estudiaron las estrategias de rehabilitación empleadas por los diseñadores y constructores, para lograr de los elementos no estructurales de fachada, el desempeño esperado.

Al revisar los diseños de reforzamiento, se encontraron detalles constructivos diseñados para mamposterías nuevas, no aplicables, que en consecuencia fueron reevaluados, durante el proceso de obra. En otros casos, se encontraron diseños incompletos, que no incluían detalles constructivos para el reforzamiento de las mamposterías de fachada.

Con los casos estudiados, se comprobó que se pueden adelantar procesos de reforzamiento y rehabilitación de fachadas, armonizando lo técnico con lo estético, sin que se deriven afectaciones importantes en la funcionalidad de la edificación. En tales casos, ha sido fundamental la escogencia de la técnica de rehabilitación y su adecuación a las características y condiciones específicas de los elementos no estructurales de las fachadas.



## 2.NORMATIVIDAD COLOMBIANA

El objetivo del presente capítulo, es identificar las implicaciones, de tipo normativo, en los diferentes tipos de intervención que pueden realizarse sobre edificios existentes, para mejorar su resistencia ante fenómenos sísmicos y puntualizar las responsabilidades de diseñadores y constructores, involucrados el proceso de reforzamiento.

También se busca poder establecer el nivel de cumplimiento de fachadas de edificaciones existentes con respecto a lo requerido en la reglamentación vigente, para lo cual se incluye una herramienta, mediante hojas de cálculo en Excel, desarrollada en el marco de una investigación para el mejoramiento de fachadas en Bogotá, hecha en la Universidad Nacional de Colombia, bajo la dirección del Ing. Daniel Rojas Mora.

Se ha identificado que la reglamentación Colombiana aplicable, en materia de rehabilitación de edificaciones y de sus componentes no estructurales, está contenida en:

- LEY 400 DE 1997- *“Por la cual se adoptan normas sobre Construcciones Sismo Resistentes, del 19 de agosto del mismo año, modificada por la Ley 1229 de 2008; del 16 de julio de 2008”*.
- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, también denominado como NSR-10, elaborado por la Comisión Asesora Permanente Para El Régimen de Construcciones Sismo Resistentes (Creada por la Ley 400 de 1997) El reglamento fue modificado mediante los decretos: 092, de fecha 17 de enero de 2011 y 0340, de fecha 13 de febrero de 2012.
- ACUERDO 20 DE 1995, del CONSEJO DE BOGOTÁ, *por el cual se adopta el Código de Construcción del Distrito Capital de Bogotá, se fijan sus políticas generales y su alcance, se establecen los mecanismos para su aplicación, se fijan plazos para su reglamentación prioritaria y se señalan mecanismos para su actualización y vigilancia*. El Acuerdo 20 de 1995, fue modificado por el Decreto Distrital No. 74 de 2001.

## 2.1 Aplicación de la normativa vigente a edificios existentes

Se ha considerado fundamental, el poder precisar y definir lo que conlleva la aplicación de las precitadas normas, en los procesos de rehabilitación de las edificaciones y en especial, lo exigido para los componentes de fachada. Por lo tanto, se citan algunos apartes del Reglamento NSR-10, relacionados con el tratamiento de los elementos no estructurales, y con el grado de desempeño requerido, en función de la edad y uso, de la edificación.

En el Título A., se establecen requisitos generales para el diseño y construcción sismo resistente de edificaciones, a nivel nacional. En el Capítulo A.1.2.3.1- ALCANCE, se establecen requisitos especiales para el diseño y construcción sismo resistente de edificaciones. En el numeral A.2.5, del Reglamento NSR-10, están definidos los grupos de uso y los valores del coeficiente de importancia de las edificaciones, de la siguiente manera:

- *A.2.5.1.1 — Grupo IV — Edificaciones indispensables— Son aquellas edificaciones de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, y cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alterno.*
- *A.2.5.1.2 — Grupo III — Edificaciones de atención a la comunidad — Este grupo comprende aquellas edificaciones, y sus accesos, que son indispensables después de un temblor para atender la emergencia y preservar la salud y la seguridad de las personas, exceptuando las incluidas en el grupo IV.*
- *A.2.5.1.3 — Grupo II — Estructuras de ocupación especial, en donde se puede reunir un grupo de 200 a 3000 de personas.*
- *A.2.5.1.4 — Grupo I — Estructuras de ocupación normal”[2]. — En donde se incluyen Todas las edificaciones cubiertas, no incluidas en los grupos anteriores.*

El CAPÍTULO A.9 –ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES están contenidos los requisitos y previsiones de sismo resistencia, para los proceso de diseño y construcción de elementos no estructurales. Dentro de los que se incluyen, acabados y elementos

arquitectónicos y decorativos, según se indica en el punto (a) del numeral A.9.1.2 — *ALCANCE* del Reglamento [2].

El grado de desempeño de los elementos no estructurales, no sufrió modificaciones, con respecto a lo previsto en la Norma NSR-98. Se continúa indicando en el numeral: *A.9.2.1—DEFINICIÓN DEL DESEMPEÑO* —*Se denomina desempeño el comportamiento de los elementos no estructurales de la edificación ante la ocurrencia del sismo de diseño que la afecte. El desempeño se clasifica en los siguientes grados:*

- (a) *Superior* — *Es aquel en el cual el daño que se presenta en los elementos no estructurales es mínimo y no interfiere con la operación de la edificación debido a la ocurrencia del sismo de diseño [2].*
- (b) *Bueno* — *Es aquel en el cual el daño que se presenta en los elementos no estructurales es totalmente reparable y puede haber alguna interferencia con la operación de la edificación con posterioridad a la ocurrencia del sismo de diseño.*
- (c) *Bajo* — *Es aquel en el cual se presentan daños graves en los elementos no estructurales, inclusive no reparables, pero sin desprendimiento o colapso, debido a la ocurrencia del sismo de diseño [2].*

El Reglamento NSR-10, también define que “*La edificación debe clasificarse dentro de uno de los tres grados de desempeño de los elementos no estructurales definidos en A.9.2.1. Este grado de desempeño no puede ser inferior al mínimo permisible fijado en A.9.2.3*” [2]. El grado de desempeño de los elementos no estructurales, se define en función del grupo de Uso de la edificación y está clasificado según se establece en la tabla contenida en el numeral A.9.2.1:

**Tabla A.9.2-1**  
**Grado de desempeño mínimo requerido**

<b>Grupo de Uso</b>	<b>Grado de desempeño</b>
<b>IV</b>	Superior
<b>III</b>	Superior
<b>II</b>	Bueno
<b>I</b>	Bajo

Tabla A.9.2-1. Grado de desempeño mínimo requerido para elementos no estructurales. Fuente: COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Bogotá, D.C.: s.n., marzo de 2010.

Es claro que el Reglamento NSR-10 exige niveles de seguridad, acordes al grupo de uso, en el que se clasifica la edificación, sin importar la época de construcción y establece el procedimiento de diseño estructural para edificaciones nuevas y para existentes. El procedimiento está resumido en la Tabla A.1.3 -1, en donde se establecen doce pasos o etapas de verificación, que también se han de tener en cuenta en todo proceso de reforzamiento y rehabilitación de estructuras.

Las exigencias para el diseño y construcción de los elementos constitutivos de las fachadas, son aplicables al reforzamiento y rehabilitación de fachadas, diseñadas y construidas antes de la entrada en vigencia del Reglamento NSR-10. Este es el caso de elementos especiales de fachada, descritos en el numeral A.9.5.2 — *“ELEMENTOS QUE REQUIEREN ESPECIAL CUIDADO EN SU DISEÑO — El comportamiento sísmico de algunos elementos no estructurales representan un peligro especialmente grave para la vida y en otros casos pueden llevar a la falla de elementos estructurales críticos, como pueden ser las columnas. Dentro de estos elementos se encuentran, entre otros, los siguientes:*

- (a) Muros de fachada — las fachadas deben diseñarse y construirse para que sus componentes no se disgreguen como consecuencia del sismo, y además el conjunto debe amarrarse adecuadamente a la estructura con el fin de que no exista posibilidad de que caiga poniendo en peligro a los transeúntes al nivel de calzada. Para sistemas vidriados de fachadas véase el Capítulo K4*
- (b) Muros interiores*
- (c) Cielos Rasos*
- (d) Enchapes de fachada*
- (e) Áticos, parapetos y antepechos*
- (f) Vidrios, —véase el Capítulo K4.*
- (g) Paneles prefabricados de fachada —véase Capítulo K4.*
- (h) Columnas cortas o columnas cautivas — Dentro de este tipo de interacción se encuentra el caso de las “columnas cortas” o “columnas cautivas” en las cuales la columna está restringida en su desplazamiento lateral por un muro no estructural que no llega hasta la losa de entrepiso en su parte superior. En este caso el muro debe separarse de la columna, o ser llevado hasta la losa de entrepiso en su parte superior, si se deja adherido a la columna” [2].*

EL CAPÍTULO A.10 EVALUACIÓN E INTERVENCIÓN DE EDIFICACIONES CONSTRUIDAS ANTES DE LA VIGENCIA DE LA PRESENTE VERSIÓN DEL REGLAMENTO - NSR-10, merece una especial atención, por que precisa los procedimientos para la evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones existentes antes de la vigencia del presente Reglamento; el diseño, la reparación o el reforzamiento. El tratamiento y el grado de intervención, está determinado por el grupo de uso, la edad y el estado de conservación de la edificación y es obligatorio por las siguientes razones:

- *A.10.1.3.2 — Cambio de uso — Cuando se modifique el uso de una edificación, aun en los casos que menciona A.10.1.3.1, entendido el cambio de uso como una modificación de acuerdo a normas urbanísticas (de residencial a multifamiliar, de alguno de ellos a comercial, entre otros), así como cambio de uno de los Grupos de Uso descritos en A.2.5.1 a otro superior dentro de ese numeral, deben evaluarse las implicaciones causadas por este cambio de uso, ante cargas verticales, fuerzas horizontales y especialmente ante efectos sísmicos.*
- *A.10.1.3.3 — Vulnerabilidad sísmica — Los criterios presentados en este Capítulo se pueden utilizar en el diagnóstico o evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes antes de la vigencia de la presente versión del Reglamento.*
- *A.10.1.3.4 — Modificaciones — Los criterios presentados en este Capítulo deben ser empleados para el diseño y construcción de ampliaciones adosadas o ampliaciones en altura, actualizaciones al reglamento y/o alteraciones, entendidas como cualquier construcción o renovación de una construcción distinta de una ampliación*
- *A.10.1.3.5 — Reforzamiento estructural — Los requisitos del Capítulo A.10 y en especial los de A.10.9 deben ser empleados en actualización y rehabilitación sísmica de edificaciones existentes.*
- *A.10.1.3.6 — Reparación de edificaciones dañadas por sismos — Los requisitos del Capítulo A.10 y en especial los de A.10.10 deben ser empleados en la reparación de edificaciones que hayan sufrido daños moderados a severos en su estructura, o daños moderados a severos en sus elementos no estructurales, o ambos, y que no hayan sido designadas como de obligatoria demolición total por la autoridad competente o por el censo que se realice para ese efecto con posterioridad a la ocurrencia del sismo, según sea el caso[2].*

Se tiene previsto un procedimiento de evaluación de la intervención, para estas edificaciones, el cual está descrito en el numeral A.10.1.4. Si bien es cierto, que dentro del procedimiento, no se hace referencia directa y explícita al tratamiento de los elementos no estructurales, mal podría interpretarse que no es obligatorio diseñar e intervenir estos elementos, máxime si se trata de reforzar edificaciones catalogadas dentro del grupo de Uso III y IV: Por el contrario, el Reglamento indica que el desempeño de los elementos no estructurales debe catalogarse como SUPERIOR, es decir que estos elementos deberán presentar daño mínimo y la eventual afectación, no deberá interferir con la operación de la edificación, después de la ocurrencia un sismo, menor al de diseño. El tratamiento para estas edificaciones, está descrito en el numeral A.10.5.2.

De este mandato se desprende la obligatoriedad de adelantar análisis de vulnerabilidad, para todas las edificaciones, indispensables para la comunidad, pertenecientes al grupo de uso IV y III. Este análisis de vulnerabilidad se debe hacer sobre sus elementos estructurales y no estructurales. De allí se deriva la necesidad de reforzar y rehabilitar las fachadas y muros de cierre perimetrales, de las edificaciones existentes, en caso de que sus componentes, no cumplan con los requerimientos normativos. Al respecto, en el numeral A.10.1.3.3, del Reglamento NSR-10, están previstos los criterios para los análisis de vulnerabilidad.

Los lineamientos para la REHABILITACIÓN SÍSMICA de edificaciones están contenidos en Numeral A.10.9 del Reglamento NSR-10. Los requisitos y aplicabilidad están definidos en el numeral A.10.9.1 —ALCANCE. Allí se define que tienen aplicabilidad para las siguientes edificaciones:

- (a) Las designadas por la Ley 400 de 1997 y sus decretos reglamentarios, como de obligatoria actualización.*
- (b) Las que deben ser reforzadas por cambio de uso o modificaciones que exigen intervención estructural.*
- (c) Las que hayan sido dañadas por sismos, y*
- (d) Las que su propietario desee actualizar voluntariamente, conforme al presente reglamento [2].*

La exigencia de comportamiento y eficiencia de los elementos estructurales y de los no estructurales, de las edificaciones construidas antes de la expedición del Reglamento



NSR-10, está definida en el numeral A.10.9.2 — *RESISTENCIA Y CAPACIDAD DE FUNCIONAMIENTO REQUERIDAS SEGÚN EL USO Y LA EDAD DE LA EDIFICACIÓN* [2] donde se encuentran definidos los requisitos para el refuerzo y rehabilitación sísmica, en función del uso y la edad de las edificaciones.

- *A.10.9.2.2 — Intervención de edificaciones diseñadas y construidas dentro de la vigencia del Reglamento NSR-98 de la Ley 400 de 1997.*
- *A.10.9.2.3 — Intervención de edificaciones diseñadas y construidas dentro de la vigencia del Decreto 1400 de 1984*
- *A.10.9.2.4 — Intervención de edificaciones diseñadas y construidas antes de la vigencia del Decreto 1400 de 1984.*
- *A.10.9.2.5 — Edificaciones declaradas como patrimonio histórico [2]*

Las disposiciones especiales para la Intervención de edificaciones indispensables y de atención a la comunidad, están contenidas en el numeral A.10.9.2.1 del Reglamento NSR-10. En consecuencia de estas previsiones, se genera la necesidad de Reforzar de las fachadas de las edificaciones, clasificadas dentro de los grupos de Uso III y IV, construidas en Colombia, antes de la entrada en vigencia del precitado Reglamento.

Adicional a lo anterior, en el numeral A.10.9.2.1 — *“Intervención de edificaciones indispensables y de atención a la comunidad”, —se especifica: “El diseño de las edificaciones pertenecientes a los grupos de uso III y IV, tal como los define A.2.5, independientemente de la época de construcción de la edificación, debe cumplir los requisitos establecidos en A.10.4.2.1, con el fin de lograr un nivel de seguridad equivalente al de una edificación nueva, y de acuerdo con los criterios y requisitos del presente Reglamento, de tal manera que la edificación una vez intervenida quede con un índice de sobreesfuerzo y un índice de flexibilidad menores que la unidad La intervención de los elementos no estructurales puede limitarse a elementos de fachada y columnas cortas o cautivas y a aquellos que se encuentren en mal estado y representen un peligro para la vida ante la ocurrencia de un sismo en el futuro. Al respecto debe consultarse el numeral A.9.5.2, de la norma.....” [2].*

El Reglamento también permite un tratamiento especial para las edificaciones declaradas como patrimonio histórico, para las cuales es aplicable lo previsto en el numeral A-10.3 *Movimientos sísmicos de uso con seguridad limitada*. En este caso es menor la

exigencia de la fuerza sísmica de diseño, al poder calcular las estructuras para movimientos sísmicos con periodos de retornos más cortos, que para las estructuras convencionales.

Por otra parte, El ACUERDO 20 DE 1995, Modificado por el Decreto Distrital No. 74 de 2001, también contiene algunas disposiciones aplicables en la rehabilitación de fachadas de edificaciones, cuando se trata de cambio de uso, ampliación, reforma, y en los casos de avanzado deterioro de la edificación. Se citan artículos pertinentes a la rehabilitación de edificios:

- **“ARTÍCULO A.3.3.1.** *Las edificaciones existentes en la fecha de adopción de este Código pueden continuar con su uso u ocupación existente, si tal uso u ocupación eran legales entonces y siempre que su continuación no atente contra la salud o la vida de los ocupantes o de sus vecinos en los términos del presente Código.*
- **ARTÍCULO A.3.4.1.** *Los cambios en el uso u ocupación de una edificación que se realicen con posterioridad a la fecha de vigencia del presente Código, deben cumplir con las normas especificadas en el capítulo G.1.*
- **ARTÍCULO A.3.7.1.** *Las edificaciones o estructuras en las que se realicen trabajos mayores de modificación, adición o reparación, deben cumplir con todas las normas contempladas en el presente Código para edificaciones nuevas, exceptuando lo contemplado en los párrafos de estos artículos:*
- **PARÁGRAFO A.3.7.1.1.** *Los trabajos mayores de adición, alteración, o reparación, pueden practicarse en cualquier obra o estructura sin que la edificación existente cumpla con todos los requerimientos del presente Código, siempre que dicha alteración cumpla con las normas sobre edificaciones nuevas y no cause que la estructura resultante sea insegura en los términos del presente Código”[3].*

El código de construcción de Bogotá, también permite una aplicación especial sobre edificaciones patrimoniales, así:

- **“PARÁGRAFO A.3.7.1.2.** *Las reparaciones, alteraciones y adiciones necesarias para la preservación, restauración, rehabilitación o uso continuado de una edificación pueden llevarse a efecto sin el cumplimiento de todas las normas del*

*presente Código, cuando la edificación haya sido señalada oficialmente como objeto de conservación histórica, arquitectónica o urbanística. En estos casos la Secretaría de Obras Públicas deberá actuar con la asesoría del Departamento Administrativo de Planeación Distrital y de la junta de protección del patrimonio urbano, según lo contempla el Acuerdo 7 de 197..... La Secretaría de Obras Públicas deberá exigir que se corrija cualquier situación de inseguridad en la obra y, en todo caso, la edificación restaurada debe mejorar las condiciones de seguridad estructural, de salubridad y de protección contra el fuego existentes anteriormente en la edificación” [3].*

Este reconocimiento de incompatibilidad de aplicación de la normativa con la función especial, permite la mejora de las condiciones de seguridad estructural, como compensación, para poder hacer viable la intervención sobre edificios patrimoniales.

En estos casos, la Edificación Patrimonial, no podrá destinarse para los usos catalogados como esenciales para la comunidad, de los Grupos III y IV, del Reglamento NSR-10, si no se logra que el grado de desempeño, de los elementos no estructurales, pueda catalogarse como SUPERIOR.

### **2.1.1 Aplicativo que ayuda a determinar la Vulnerabilidad de las fachadas**

En este aparte se incluye una hoja electrónica diseñada para el diagnóstico del nivel de resistencia sísmica probable de los muros de fachada de las edificaciones existentes y establecer un comparativo respecto a los parámetros de diseño estructural, establecidos en el capítulo A-9 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES, del Reglamento la NSR-10.

El Aplicativo fue elaborado sobre una hoja electrónica del programa para computadores Excel y produce un diagnóstico por cada piso de la edificación e indica si debe hacer un reforzamiento a los muros de fachada para que estos alcancen los niveles eficiencia estructural, para soportar los sismos a los niveles de diseño y periodo de retorno, actualmente establecidos en el Reglamento. Para usar este aplicativo de diagnóstico se deben diligenciar los siguientes datos de la edificación:

- Micro-zonificación sísmica- El decreto 523, de diciembre 16 de 2010, establece 16 zonas que se han definido para la ciudad de Bogotá D.C. Ver Tabla 3.1
- Número de pisos de la edificación
- Altura de la placa de entrepiso
- Tipo de fachada no estructural
- Sistema estructural de resistencia sísmica
- Grupo de Uso
- Masa del material de fachada
- Peso estimado de la fachada, por metro lineal
- Tipo de anclaje del muro a la estructura principal

A continuación se incluye un ejemplo del uso del aplicativo para determinar la vulnerabilidad de los muros de fachada de una casa de dos pisos, ubicada en la carrera 18 N° 34-15, de la ciudad de Bogotá. El resultado al final de la Tabla 1.5, es REFORZAR, para ambos pisos.

En el capítulo 7- PROPUESTA DE UN SISTEMA DE REFORZAMIENTO- Se desarrolla una herramienta de cálculo para el sistema de reforzamiento propuesto. El cálculo se hace a partir de las deficiencias detectadas con el aplicativo.

## DIAGNOSTICO

1. Seleccione con una (x) La zona del diseño

ZONIFICACIÓN	
CERROS	
PIEDEMONTE A	
PIEDEMONTE B	X
PIEDEMONTE C	
LACUSTRE-50	
LACUSTRE-100	
LACUSTRE-200	
LACUSTRE-300	
LACUSTRE-500	
LACUSTRE ALUVIAL-200	
LACUSTRE ALUVIAL-300	
ALUVIAL-50	
ALUVIAL-100	
ALUVIAL-200	
ALUVIAL-300	
DEPÓSITO LADERA	

2. Seleccione con una (x) El grupo de uso

GRUPO DE USO	I
IV	
III	
II	
I	X

5. Seleccione con una (x) el tipo de anclaje

TIPO DE ANCLAJE	
Especiales	
Dúctiles	x
No dúctiles	
húmedos	

7. Ingrese la altura libre de cada piso. (m)

h(libre)

8. Ingrese el numero de pisos de la edificación

#Pisos

9. Ingrese la altura de la placa de entrepiso. En metros

h(placa)

3. Ingresar la masa por cada m2 del elemento no estructural.

Kg/m2

6. Espesor del muro (m)

Espes

4. Seleccione con una (x) tipo de fachada no estructural

ELEMENTO NO ESTRUCTURAL	
1. Mampostería reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas arriba y abajo.	
2. Mampostería reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas solo abajo.	
3. Mampostería no reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas arriba y abajo.	
4. Mampostería no reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas solo abajo.	x
5. Mampostería no reforzada, confinada por la estructura	

10. Seleccione con una (x) el sistema estructural de resistencia sísmica

Valor de los parámetros $C_v$ y $\alpha$ para el cálculo del periodo aproximado $T_a$	
Sistema estructural de resistencia sísmica	
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	
Pórticos arriostrados de acero estructural con diagonales excéntricas restringidas a pandeo.	
Todos los otros sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de muros de concreto o mampostería.	X

11. Ingrese la resistencia del muro en mampostería

f'c (Mpa)

Coeficientes de diseño					
$A_a$ Para Bogotá	0,15	$A_0$ (475) (g)	0,26	$h_{eq}$ (m)	4,425
$A_v$ Para Bogotá	0,20	I (Grupo de)	1,00	h (edificio)	6,9
$A_x$ Para Bogotá	0,13	$S_a$	0,73	$C_v$	0,049
$A_d$ Para Bogotá	0,06	$a_p$	2,50	$\alpha$	0,75
$F_a$ (475)	1,95	$R_p$	6,00	$T_a$	0,21
$F_v$ (475)	1,70	$g$ (m/s <sup>2</sup> )	9,81	b	1,00
$T_c$ (seg)	0,56	Mp	120	d	0,280
$T_L$ (seg)	3,00	$h_n$ (m)	5,9	f'c (Mpa)	3

Piso	$h_x$ (m)	$a_x$	$F_p(N) = \frac{a_x a_p}{R_p} g M_p$	$\geq$	$\frac{A_a I}{2} g M_p$	DIAGNOSTICO
1		0,260	127,53	$\geq$	88,29	REFORZAR
2	3,45	0,627	307,75	$\geq$	88,29	REFORZAR
3				$\geq$		
4				$\geq$		
5				$\geq$		
6				$\geq$		
7				$\geq$		
8				$\geq$		
9				$\geq$		
10				$\geq$		
**				$\geq$		

Tabla 1.5 – Aplicativo para determinar la vulnerabilidad de los muros de fachada. Fuente: Mejoramiento Y Adecuación De Fachadas en Mampostería y Elementos No Estructurales Con Anterioridad Al Reglamento Colombiano NSR 10 – Desarrollado por Jaime Alejandro Novoa Usaquén y Germán Ahumada Forero, bajo la dirección de Daniel Rojas Mora [10]

## 2.2 Asignación de las responsabilidades

Una de las novedades del Reglamento NSR-10 respecto de su predecesora, la Norma NSR-98, es la inclusión de nuevas responsabilidades para constructores, curadurías y departamento de planeación municipal, referentes a los elementos no estructurales.

Lo anterior tiene plena justificación si se toman en consideración las conclusiones de un estudio realizado por la Arquitecta Paola Lozano Monsalve, en el año 2003, sobre 233 obras con licencias expedidas por las curadurías 3 y 4, de Bogotá en donde se concluye: *“el 23% de los proyectos presentados y aprobados por las curadurías presentan diseño de los elementos no estructurales y el 77% no lo hacen. Del porcentaje de los proyectos que presentan los diseños, el 70% son esquemas prediseñados por la curaduría, que en su mayoría no se ajustan a las características propias del diseño y el 30% restante son propuestos directamente por el diseñador”* [11].

Algo similar se detectó con ocasión del estudio de casos de la presente investigación, en donde se evidenció que algunos de los diseños de reforzamiento de edificaciones no tenían completamente resuelto el sistema de fijación y estabilización de los elementos no estructurales constitutivos de la fachada.

En otra investigación del año 2012, a cargo de la Arquitecta Jenny Cabezas Rincón, sobre 14 obras cuyos diseños estructurales se elaboraron luego de entrada en vigencia el Reglamento NSR-10, se concluye: *“continúa siendo preocupante el cumplimiento de los requerimientos dados en la normativa NSR-10, pues como pudo observarse, el 93% contaba con un diseño sísmico para estos elementos, pero solo en la mitad de ellos eran realizados con las recomendaciones dadas por el calculista, en las mismas proporciones se llevaban a cabo ensayos a los materiales y buenas prácticas constructivas”* [12].

No se tienen datos precisos sobre la intervención de los elementos no estructurales en los procesos de rehabilitación, lo cual podría ser objeto de una futura investigación. En varios de los casos objeto de estudio de la presente investigación se pudo comprobar como los detalles constructivos provenían de esquemas genéricos prediseñados, tomados de la Norma NSR-98, los cuales resultaron poco aplicables. En otros casos fue evidente la falta de estos diseños. Esta situación generó demoras y sobrecostos en algunos de los procesos de reforzamiento de las fachadas.

Esto se explica porque las normas sismo resistentes están orientadas a las edificaciones nuevas y contemplan pocas soluciones constructivas aplicables al reforzamiento de los elementos no estructurales que hacen parte de las fachadas.

Por todo lo anteriormente expuesto se ha considerado importante recordar las responsabilidades de los diseñadores, constructores, fabricantes y propietarios, para salvaguardar la estabilidad de los elementos no estructurales, en concordancia con la normativa vigente, en Colombia.

Dentro del capítulo I, del título III. DISEÑO Y CONSTRUCCION, de la ley 400 de 1997, se describen las responsabilidades de los diseñadores y constructores, así como las calidades de experiencia y estudios que deben acreditar los profesionales, a cargo de estas actividades. En el Artículo 7º se definen lineamientos para sujeción de la construcción a los planos de construcción, aprobados por las curadurías y la conservación de estos en los archivos distritales o municipales

Cabe resaltar como, en el PARAGRAFO 1º del artículo 6º, se dan facultades a la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes para establecer el contenido mínimo de los planos, memorias y especificaciones de los diseños. Esta comisión también tiene la facultad de para estudiar y homologar las nuevas técnicas constructivas no previstas en el Reglamento actual.

## 2.2.1 Responsabilidades de los diseñadores

En el artículo 26 del capítulo II de la ley 400 de 1997, se indica *“El diseñador debe ser un ingeniero civil cuando se trate de diseños estructurales y estudios geotécnicos, y un arquitecto o ingeniero civil o mecánico en el caso de diseños de elementos no estructurales”* [1]. Las responsabilidades de estos profesionales están precisadas en el numeral **A.1.3.6.2** del Reglamento NSR-10, en donde se indica *“El diseño de los elementos no estructurales debe ser llevado a cabo por profesionales facultados para este fin de acuerdo con los artículos 26 y 29 de la Ley 400 de 1997 y siguiendo los requisitos del Capítulo A.9, considerando para el efecto los parámetros de diseño sísmico aportados por el diseñador estructural”* [2]. Este concepto es precisado en numeral **A.9.5.1 — “GENERAL —** *Los acabados y elementos arquitectónicos enumerados en la tabla A.9.5-1 y sus anclajes a la estructura deben diseñarse y detallarse de acuerdo con los requisitos de esta sección. Los cálculos y diseños de los elementos arquitectónicos y acabados deben incluirse como parte de las memorias de diseño de acabados”*[2].

El Reglamento NSR-10 también describe la responsabilidad del diseñador, en un aparte del numeral: **A.9.3.1 — DEL DISEÑADOR RESPONSABLE** *“La responsabilidad del diseño sísmico de los elementos no estructurales recae en los profesionales bajo cuya dirección se elaboran los diferentes diseños particulares. Se presume, que cuando un elemento figure en un plano o memoria de diseño, es porque se han tomado todas las medidas necesarias para cumplir el propósito del Reglamento y por lo tanto el profesional que firma o rotula el plano es el responsable del diseño correspondiente”*. Lo anterior es concordante con lo indicado en el numeral **A.1.5.1** del mismo reglamento, el cual indica **— DISEÑADOR RESPONSABLE —.** *La responsabilidad de los diseños de los diferentes elementos que componen la edificación recae en los profesionales bajo cuya dirección se elaboran los diferentes diseños particulares”*. [2]

El reglamento también prevé que Empresas fabricantes de diversos elementos puedan ser responsables del diseño de los elementos no estructurales, según se indica en los numerales A.9.3.1.1 y A.1.3.6.4. En estos casos, el diseñador se debe limitar a especificar en sus planos, memorias o especificaciones, el grado de desempeño que deben cumplir los elementos.



Al Arquitecto diseñador también le corresponde la responsabilidad de la coordinación de los diferentes diseños, según se indica en el numeral A.9.3.3 — COORDINACIÓN ENTRE DISEÑOS DE ELEMENTOS QUE HACEN PARTE DE DIFERENTES SISTEMAS —.en donde también indica “*El profesional que realice la coordinación debe tomar todas las precauciones necesarias para que el diseño resultante de cada uno de los elementos no estructurales, realizado por profesionales diferentes a él, no afecte el desempeño de elementos diseñados por otros profesionales*” [2].

Así las cosas, la responsabilidad por la estabilidad de los elementos no estructurales, de las fachadas y de la coordinación de los diseños técnicos, le corresponden al Arquitecto, que suscribe los planos.

### **2.2.2 Revisión de los diseños**

El reglamento NSR-10 indica en su numeral “**A.1.3.7 — REVISIÓN DE LOS DISEÑOS:** *los planos, memorias y estudios realizados deben ser revisados para efectos de la obtención de la licencia de construcción y que la revisión debe ser realizada en la curaduría o en las oficinas o dependencias encargadas de estudiar, tramitar, y expedir las licencias de construcción, o bien por un profesional independiente, a costo de quien solicita la licencia*” [2].

### 2.2.3 Responsabilidades del constructor

El Reglamento NSR-10, adicional a las responsabilidades propias de su gestión, le asigna al Constructor la responsabilidad sobre el diseño de los elementos no estructurales, en los términos descritos en el párrafo final del numeral A.9.3.1 — DEL DISEÑADOR RESPONSABLE\_ “*El constructor quien suscribe la licencia de construcción debe cumplir lo indicado en A.1.3.6.5 y es el responsable final de que los diseños de los elementos estructurales se haya realizado adecuadamente y que su construcción se realice apropiadamente*” [2].

Los alcances de esta nueva responsabilidad, están precisados en los siguientes numerales, del mismo reglamento:

- “A.1.3.6.5— *El constructor quien suscribe la licencia de construcción debe:*
  - (a) *Recopilar los diseños de los diferentes elementos no estructurales y las características y documentación de aquellos que se acojan a lo permitido en A.1.5.1.2, para presentarlos en una sola memoria ante la Curaduría u oficina o dependencia encargada de estudiar, tramitar, y expedir las licencias de construcción*
  - (b) *Los diferentes diseños de los elementos no estructurales deben ser firmados por el Constructor que suscribe la licencia, indicando así que se hace responsable que los elementos no estructurales se construyan de acuerdo con lo diseñado, cumpliendo con el grado de desempeño especificado” [2].*

Con la asignación de estas nuevas responsabilidades al constructor, mal podría entenderse, que el diseñador pierde la responsabilidad por la autoría de sus diseños, por cuanto La ley 400 de 1997, establece que la responsabilidad sobre los diseños recae sobre el profesional que firma los planos y esta condición seguirá vigente, en tanto no se modifique la ley.

Durante esta etapa de construcción, son aplicables previsiones relacionadas con los materiales de construcción, dirección y supervisión de la construcción, contenidas en el Reglamento NSR-10, en sus numerales:

- “A.1.3.8 — **CONSTRUCCIÓN**— *La construcción de la estructura, y de los elementos no estructurales, de la edificación se realiza de acuerdo con los requisitos propios del material, para el grado de capacidad de disipación de energía para el cual fue diseñada, y bajo una supervisión técnica, cuando así lo*

*exija la Ley 400 de 1997, realizada de acuerdo con los requisitos del Título I. En la construcción deben cumplirse los requisitos dados por el Reglamento para cada material estructural y seguirse los procedimientos y especificaciones dados por los diseñadores. La dirección de la construcción debe ser realizada por un ingeniero civil, o arquitecto, o un ingeniero mecánico para el caso de estructuras metálicas o prefabricadas, facultados para este fin, de acuerdo con la Ley 400 de 1997, o un constructor en arquitectura o ingeniería facultado para este fin por la Ley 1229 de 2008” [2].*

La SUPERVISIÓN TÉCNICA, de acuerdo con el Título V de la Ley 400 de 1997, es obligación del constructor. Esta es indispensable durante la construcción de estructuras de edificaciones o unidades constructivas, que tengan más de 3000 m<sup>2</sup> de área construida, independientemente de su uso y es deseable para edificaciones de cualquier tamaño. En el Título I *SUPERVISIÓN TÉCNICA* del Reglamento NSR-10, se precisan los criterios bajo los cuales debe operar la supervisión, en cuanto a:

- Alcance de la supervisión técnica
- Controles exigidos. Descritos en la Tabla I 4.3-2
- Ensayos de control de calidad
- Calidades de los supervisores, en cuanto a formación profesional y experiencia
- Documentación de las labores de supervisión
- Procedimiento recomendado para ejercer la Supervisión
- Grados de supervisión. Recomendado según indica la tabla I.4.3-1

**Tabla I.4.3-1  
Grado de Supervisión Técnica Recomendado**

Material estructural	Área Construida (5)	Control de calidad realizado por el constructor	A Supervisión Técnica Itinerante	B Supervisión Técnica Continua
Concreto Estructural, Estructura Metálica y Madera	menos de 3000 m <sup>2</sup>	Grupos de Uso I y II	Grupos de Uso III y IV	Grupos de Uso III y IV
	entre 3000 m <sup>2</sup> y 6000 m <sup>2</sup>		Grupos de Uso I y II	
	mas de 6000 m <sup>2</sup>			
Mampostería	menos de 3000 m <sup>2</sup>	Grupos de Uso I y II	Grupos de Uso III y IV	Grupos de Uso I, II, III y IV
	entre 3000 m <sup>2</sup> y 6000 m <sup>2</sup>			
	mas de 6000 m <sup>2</sup>			

Notas:

1. Están exentas de Supervisión Técnica de la construcción, según el Artículo 18 de la Ley 400 de 1997, las edificaciones con menos de 3000 m<sup>2</sup> de área construida.
2. Las estructuras de edificaciones de los grupos de uso III y IV, independientemente de su área, según el Artículo 20 de la Ley 400 de 1997, deben someterse a Supervisión Técnica de la construcción.

Fuente: COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá, D.C.: s.n., marzo de 2010.

Cabe resaltar que, para casi todas las actividades de construcción de muros y elementos de mampostería, se recomienda tener supervisión técnica continua (grado B), según se indica en la Tabla I 4.3-2.

El Acuerdo 20 de 1995 asigna las responsabilidades de supervisión técnica, de la siguiente manera:

- **“ARTÍCULO F.3.1.1.** *La construcción de edificaciones que hagan parte de programas de más de 25 unidades de vivienda, o tengan más de 2.000 m2 de área de construcción, debe someterse a una supervisión técnica realizada por un profesional, ingeniero civil o arquitecto, debidamente matriculado; el profesional puede delegar en personal no profesional alguna de las labores de la supervisión técnica”.*[3]
- **“ARTÍCULO F.3.1.2.** *El supervisor técnico debe verificar la concordancia entre la construcción, los planos y las especificaciones; debe mantener un registro escrito de las labores. PARÁGRAFO F.3.1.2.1. Este registro debe conservarse por parte del supervisor técnico por tres años después de la terminación de la obra”.* [3]
- **“ARTÍCULO F.4.1.1.** *El Departamento Administrativo de Planeación Distrital y la Secretaría de Obras Públicas pueden inspeccionar en cualquier tiempo las edificaciones y las obras con el fin de verificar el cumplimiento de las disposiciones del presente código”* [3].

Según lo anterior, es de obligatorio cumplimiento adelantar la supervisión técnica durante la etapa de construcción, en cabeza de un Arquitecto o Ingeniero Civil, si el área es mayor a la estipulada, en cada Reglamento. No obstante el Reglamento NSR-10, establece en un aparte del numeral A.1.3.9.6 — *Edificaciones donde no se requiere supervisión técnica* —: *“En aquellas edificaciones donde no se requiera la supervisión técnica, este hecho no exime al constructor de realizar los controles de calidad de los materiales que el Reglamento requiere para los diferentes materiales estructurales”* [2].

## 2.2.4 Responsabilidades del propietario

El Código de Construcción del Distrito Capital de Bogotá (Acuerdo 20 de 1995) asigna las responsabilidades del Propietario, de la siguiente manera:

- **“Artículo 19º.- PARÁGRAFO G.1.2.1.1.** *El propietario de la edificación es el responsable del correcto mantenimiento de la edificación y de sus equipos”* [3].

El reglamento - NSR 10 define la obligatoriedad de refuerzo y rehabilitación sísmica de edificaciones y asigna esta responsabilidad a los propietarios, según se indica en el capítulo A.10.9 — *REHABILITACIÓN SÍSMICA*. La aplicabilidad está definida en el numeral: “A.10.9.1 — *ALCANCE* — *Los requisitos de la presente sección aplican para las siguientes edificaciones:*

- (a) Las designadas por la Ley 400 de 1997 y sus decretos reglamentarios, como de obligatoria actualización.*
- (b) Las que deben ser reforzadas por cambio de uso o modificaciones que exigen intervención estructural.*
- (c) Las que hayan sido dañadas por sismos, y*
- (d) Las que su propietario desee actualizar voluntariamente, conforme al presente reglamento”* [2].

La Ley 400 de 1997, en su **Artículo 54º** incorpora el mandato para “*Actualización de las edificaciones indispensables. “A las construcciones existentes cuyo uso las clasifique como edificaciones indispensables y de atención a la comunidad, localizada en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia, se les debe evaluar su vulnerabilidad sísmica, de acuerdo con los procedimientos que habrá de incluir el Título A de la reglamentación, [...] Estas edificaciones deben ser intervenidas o reforzadas para llevarlas a un nivel de seguridad sísmica equivalente al de una edificación nueva diseñada y construida de acuerdo con los requisitos de la presente Ley y sus reglamentos [...]*” [2].



### 3. TÉCNICAS DE REFORZAMIENTO

Existen dos motivaciones para intervenir los elementos no estructurales, la primera es reparar los daños provocados por factores externos o por deterioro natural. La rehabilitación hace referencia a los procesos de reparación, lo que equivale a la restitución de la capacidad original del elemento. La segunda motivación es mejorar el desempeño de elementos constitutivos, para adecuarlos a los requerimientos normativos.

En este orden de ideas, el Reforzamiento implica el incremento de la capacidad resistente del elemento, por encima del nivel original- El reforzamiento de muros conlleva el incremento de sus propiedades estructurales, en cuanto a resistencia, rigidez, capacidad de deformación y de disipación de energía. Con los procesos de reforzamiento y rehabilitación se busca que, a niveles de sismo de diseño, la fachada no sufra daño más allá de ciertos límites y garantice el funcionamiento de la edificación, después de la ocurrencia del sismo.

En estudios adelantados por el Ingeniero mejicano, Sergio A. Alcocer, se describen los daños más frecuentes sufridos por las estructuras de mampostería simple y adobe. Se indica que los daños se debieron a las siguientes causas principales:

- *“Deslizamiento del sistema de piso/techo sobre los muros*
- *Volteo de muros perimetrales*
- *Agrietamiento inclinado, normalmente a lo largo de las diagonales*
- *Daños locales severos debido a aberturas de gran tamaño, que disminuyen la capacidad sísmica*
- *Caídas de parapetos producidos por una baja resistencia a la tensión fuera del plano*
- *Daños por empujes de escaleras o rampas*
- *Golpeteo con construcciones vecinas debido a una insuficiente separación*
- *Falla de muros por excesiva esbeltez*

- *Falta de continuidad en la altura, lo que provoca concentraciones de esfuerzos y deformaciones en ciertos elementos*
- *Dinteles discontinuos que se traducen en un confinamiento inadecuado para mantener la capacidad sísmica a deformaciones laterales crecientes*
- *Distribución inadecuada de muros en planta que origina oscilaciones de torsión importantes, así como demandas de deformación que se traducen en daño*
- *Asentamientos diferenciales” [13].*

Para prevenir los daños por efectos de la torsión en el edificio, falta de continuidad en la altura, columna corta y piso blando, el Reglamento NSR-10 define las condiciones de configuración, en planta y en altura, de las edificaciones en su numeral A.3.3 – CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN. Con relación a la prevención de daños y colapso de las mamposterías de las fachadas, encontramos disposiciones el Capítulo A-9 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES, de la NSR-10, aplicables en especial, al diseño y construcción de edificaciones nuevas.

Las disposiciones orientadas a la rehabilitación de las edificaciones antiguas se encuentran en el capítulo A.10 EVALUACIÓN E INTERVENCIÓN DE EDIFICACIONES CONSTRUIDAS ANTES DE LA VIGENCIA DE LA PRESENTE VERSIÓN DEL REGLAMENTO de la NSR-10, en la cual se tiene previsto un procedimiento de evaluación de la intervención para estas edificaciones, según se ha descrito en capítulo segundo de la presente investigación.

Alcocer menciona cinco técnicas usuales en rehabilitación de muros de mampostería y hace algunas consideraciones en estudios experimentales. Las técnicas consisten en “*el reemplazo de piezas y de concreto dañados; la reparación de grietas; la inserción de barras de refuerzo; el encamisado de muros; y la adición de elementos de concreto reforzado*” [14].

En la figura 3-1 se muestra, de manera cualitativa, la relación entre el desempeño que ha exhibido la estructura por rehabilitar el nivel de daño esperado y los esquemas de rehabilitación que pueden ser aplicados. La gráfica es técnicamente aplicable a muros de mampostería confinada, pero con modificaciones menores se puede usar para otras modalidades de mampostería.



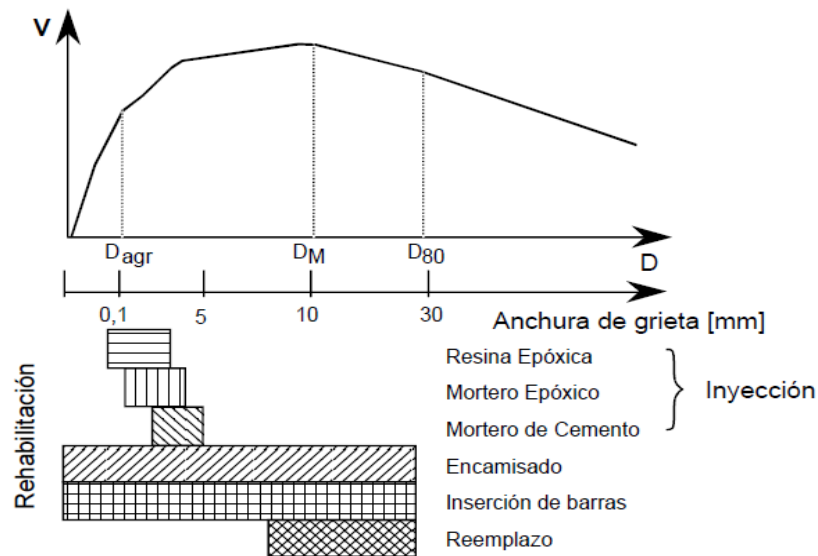


Figura 3-1. Desempeño de un muro de mampostería existente, el nivel de daño esperado y los esquemas de rehabilitación. Fuente: ALCOCER, S. Rehabilitación de estructuras de mampostería. [aut. libro] Fundación ICA. *Edificaciones de mampostería para vivienda*. s.l.: El autor, 1999, págs. 457-560.

Adicionalmente indica que “*al diseñador le corresponde identificar, el nivel de desempeño que se espera de los elementos no estructurales, seleccionar los criterios y los métodos de reforzamiento apropiados; dimensionar y detallar la configuración de los elementos no estructurales y su contenido*” [14].

Esta ha sido la única referencia comparativa de sistemas de reforzamiento y se considera fundamental ahondar en la comparación de los sistemas. Por lo anterior, en el presente capítulo se propone una clasificación de los sistemas por la forma y por los materiales que se adicionan a los muros y que cumplen la función de repotenciar su resistencia. Esto con el propósito de facilitar su estudio y comparación.

De acuerdo con esta clasificación, se citan las investigaciones más recientes en el campo de reforzamiento de mampostería con el propósito de mostrar un panorama de posibilidades técnicas de intervención y visualizar el estado del arte. Se muestran los resultados de los ensayos en mesa vibratoria de modelación estructural, en programas de computador, y se mencionan las conclusiones y recomendaciones de los autores.

Con el objetivo de establecer parámetros de comparación y aplicación en nuestro medio, se resumen las ventajas constructivas, mecánicas, económicas y estéticas, de diferentes técnicas de rehabilitación y de reforzamiento, y se analiza su aplicabilidad, desde la normativa vigente, en Colombia.

### 3.1 Reforzamiento con elementos laminares

Con las técnicas de adosar y fijar elementos laminares a muros de mampostería, se busca aportar a los muros mayor capacidad de carga y ductilidad, además de vincularlos con la estructura portante de la edificación. De esta manera se pretende mantener la resistencia de la unidad estructural de la mampostería, reducir las fallas frágiles y explosivas, por cargas dinámicas producidas por el efecto sísmico.

El reforzamiento de mamposterías, con láminas, brinda los siguientes beneficios:

- Peso muy liviano (mínima carga muerta adicional).
- Rápida instalación.
- Mínimo incremento de espesor del elemento.
- Algunos materiales son flexibles y adaptables a las formas de los muros.

El primer grupo lo conforman los polímeros reforzados con fibras o “fiber reinforced polymer” (FRP) son materiales compuestos, formados por fibras de alta resistencia como carbono (CFRP), vidrio (GFRP), arámido (AFRP), basalto (BFRP). Las fibras son embebidas en una matriz de resina polimérica. Esta estructura hace que las fibras resistan los esfuerzos de tracción mientras que la matriz de resina los transmite entre fibras al mismo tiempo que resiste otros esfuerzos. Las fibras tienen alta durabilidad, son anticorrosivas y bajo mantenimiento. También, se pueden orientar en una o varias direcciones y con distintas separaciones.

Dentro de esta clasificación, también se han incluido técnicas de reforzamiento a partir del uso de correas de acero, correas de plástico, listones de madera y láminas de tereftalato de polietileno (PET) reciclado. Para determinar la eficiencia y otras condiciones técnicas de los sistemas, se han referenciado estudios experimentales especializados, en el reforzamiento de mamposterías, dos de ellos desarrollados en el ámbito de investigaciones académicas nacionales

### 3.1.1 Reforzamiento con láminas de fibras de carbono

El FCRP es un polímero fabricado a partir de fibras de carbono, entretejidas a una matriz de resina de polímeros, que se obtiene de someter a altas temperaturas (hasta 1500 °C) un polímero llamado poliacrilonitrilo, la cual resulta 10 veces más resistente a la tracción que el acero (35,500 kg/cm<sup>2</sup> vs. 4,200 kg/cm<sup>2</sup>) y mucho más liviano.

Este material ha sido usado exitosamente en el reforzamiento externo, de vigas y losas de concreto, en las zonas con sobre esfuerzos de tensión y de corte y en las zonas de confinamiento, en las uniones de vigas y columnas. La fibra se dispone de manera similar al confinamiento de las barras de acero de la estructura, para suplir las deficiencias por cantidad de acero, teniendo en cuenta que la capacidad de refuerzo del carbono es unidireccional, en el sentido de las fibras, en la mayoría de productos que se consiguen comercialmente.

En la ponencia “*Resistencia al corte de muros de albañilería reforzados exteriormente con fibras*” [14], de los ingenieros Pablo Alcaíno R y Hernán Santa María O, presentada durante las XXXIII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, año 2008, se presentaron los resultados de una investigación, en la cual evaluó el comportamiento mecánico de muros de ladrillos cerámicos, a escala natural, reforzados externamente con fibras de carbono (CFRP), ensayados en mesa vibratoria. Se estudiaron dos configuraciones de refuerzo: fibras orientadas horizontal y diagonalmente, adheridas en ambas caras de muros. La Figura 3.1.1-1 muestra las maneras como se dispusieron las láminas de FCRP sobre los muretes ensayados.

Se hicieron ensayos previos de adherencia entre mampostería y las láminas de fibra de carbono (CFRP), sobre probetas de ladrillos cerámicos. En algunas de ellas se hizo desbaste superficial, antes de adherir las láminas de FCRP y en otras no. En el primer caso predominaron las fallas por arrancamiento (pull off); en las segundas, predominaron las fallas por insuficiente adherencia.

Posteriormente, se elaboraron doce probetas con dimensiones nominales de 2400x1975x140mm; sin refuerzo y 4 donde se incluyeron armadura de acero horizontal. Las probetas fueron diseñadas y construidas, de tal manera que la falla por corte antecediera a la falla por flexión.

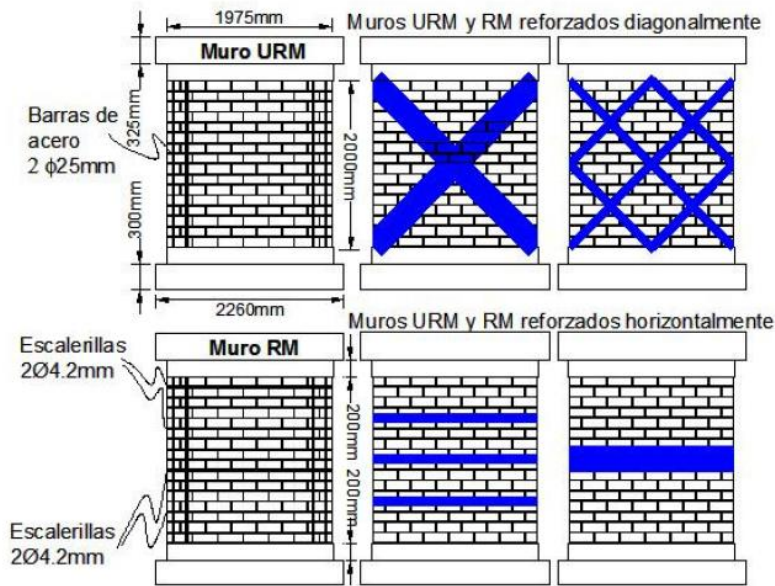


Figura 3.1.1-1. Posibilidades de reforzamiento en un muro con láminas de FCRP. Fuente: ALCAINO, P. y SANTA MARÍA, H. *Resistencia al corte de muros de albañilería reforzados exteriormente con fibras*. Santiago de Chile: s.n., 2008. XXXIII Jornadas sudamericanas de Ingeniería Estructural.

Los autores del estudio han concluido: *“Las respuestas de los muros con diferentes configuraciones y cantidades de refuerzo de CFRP fueron comparadas en términos de la primera grieta diagonal importante, patrón de agrietamiento, resistencia máxima, modo de falla, respuesta histerética y rigidez. Los muros URM reforzados tuvieron aumentos en resistencia máxima de entre 50 y 80%, mientras que los RM, entre 13 y 34%. Todos los muros tuvieron aumentos importantes en su capacidad de deformación lateral, aumentando entre 70 y 110% la deformación asociada a la carga máxima. El refuerzo CFRP redistribuyó las grietas y disminuyó su espesor. Se observó que si el refuerzo de CFRP se distribuye en el muro, la falla es menos frágil que si el refuerzo se concentra”* [15].

Las conclusiones coinciden con las de investigaciones similares adelantadas en Chile y Canadá, en donde también se demostró que el uso de FCRP aumenta la resistencia de los muros, hasta en un 70%, con relación a la mampostería sin refuerzo y disminuye el espesor y extensión de las grietas, por lo tanto se disminuye la probabilidad de fallas frágiles por corte. También han comprobado, que es mejor colocar las láminas de FCRP, de forma diagonal. Pues reduce considerablemente los esfuerzos cortantes.

En la Pontificia Universidad Católica del Perú se estudió la efectividad de esta técnica en la reparación en muros confinados, afectados por sismo. Para el estudio se usó un muro que previamente había fallado por fuerza cortante, en un experimento de carga lateral cíclica. Solo se repararon las grietas más protuberantes, profundizándolas y removiendo las zonas trituradas, para después limpiarlas, humedecerlas y taponarlas manualmente con mortero, 1:4. La zona central, donde quedo un vacío, fue rellenada con concreto con resistencia  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . Luego se esmerilaron las partes del muro donde posteriormente se adicionaron láminas de fibras de carbono (Mbrace CF130) adheridas exteriormente, a cada lado del muro. Las imágenes 3.1.1-1 y 3.1.1-2 muestran el estado físico del muro, luego de la reparación.



Imagen 3.1.1-1. Rehabilitación de muro con láminas FCPR. Imagen 3.1.1-2. Detalle de la rehabilitación de muro con láminas FCPR Fuente: SAN BARTOLOMÉ, A. y CORONEL, C. Reforzamiento de un muro de albañilería confinada mediante fibra de carbono. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. [En línea] 2011. Disponible en web: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20110805-Reparacion-fibra%20de%20carbono.pdf>>.

El muro reparado fue sometido a un nuevo experimento de carga lateral cíclica. Los resultados se resumen en la figura 3.1.1-2 la cual muestra las envolventes de los lazos histeréticos V-D1, en ellas puede notarse que la rigidez lateral inicial del muro rehabilitado (5.6 ton/mm) fue el 50% de la correspondiente al muro original (11.6 ton/mm), sin embargo, la reparación incrementó en 1100% a la rigidez que tuvo el muro original en la última fase del ensayo (0.45 ton/mm para  $D1 = 15\text{mm}$ ). En la figura 3.1.1-3, se muestra la envolvente del desplazamiento horizontal relativo entre las partes intermedias de las columnas, donde se evidencia que mejoró el comportamiento del muro rehabilitado:

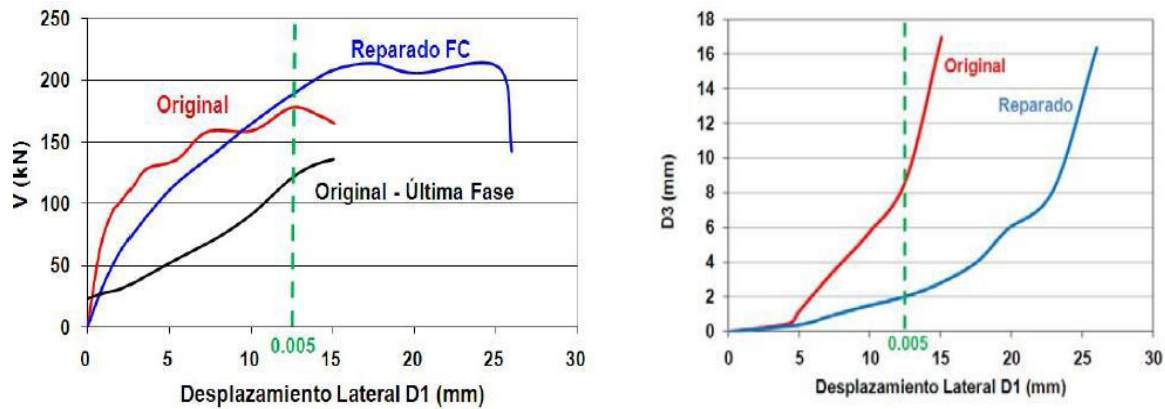


Figura 3.1.1-2. Envolvente de los lazos histeréticos V-D1; Figura 3.1.1-3. Envolvente del desplazamiento horizontal relativo entre las partes intermedias de las columnas. Fuente: SAN BARTOLOMÉ, A. y CORONEL, C. Reforzamiento de un muro de albañilería confinada mediante fibra de carbono. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. [En línea] 2011. Disponible en web: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20110805-Reparacion-fibra%20de%20carbono.pdf>>.

Los autores resumen las conclusiones del estudio así:

- “Los ensayos mostraron que la rigidez lateral inicial del muro rehabilitado (5.6 ton/mm) fue el 50% de la correspondiente al muro original (11.6 ton/mm), pero, la reparación incrementó en 1100% a la rigidez que tuvo el muro original, en la última fase del ensayo
- La baja rigidez lateral inicial que tuvo el muro rehabilitado se debió a que las fisuras finas existentes tanto en las columnas como en la albañilería no fueron resanadas; asimismo, el taponado con mortero de las grietas diagonales principales se realizó manualmente, por lo que cabe la posibilidad de que el mortero no haya sellado completamente la parte interna de la grieta, por ello se recomienda lanzar este mortero con un equipo neumático.
- La banda de carbono resultó efectiva al incrementar la resistencia a corte en la etapa de grandes desplazamientos laterales, asociados a sismos severos; sin embargo, la baja rigidez inicial que tuvo el muro reparado haría que las grietas diagonales se formen para acciones de sismos moderados, por lo que de seguirse la técnica de reparación y reforzamiento indicada en este artículo, habría que tratar de restablecer la rigidez inicial con algún elemento estructural adicional” [15].

### 3.1.2 Reforzamiento con varillas de fibra de vidrio

Los estudios experimentales de reforzamiento de mampostería con varillas de fibra de vidrio, fueron realizados en el 2002 por los investigadores norteamericanos Gustavo Tumialan y Antonio Nanni y el, peruano Ángel San Bartolomé [16]. Quienes evaluaron el comportamiento de cuatro especímenes (probetas a escala natural), sometidas a carga lateral cíclica coplanar, según se indica en la Tabla 3.1.2

Especímen	Descripción
RC-F	Pórtico sin tabique
IM1	Tabique no reforzado
IM2	Tabique reforzado con varillas de fibra de vidrio de ¼" no ancladas
IM3	Tabique reforzado con varillas de fibra de vidrio de ¼" ancladas al pórtico

Tabla 3.1.2 Descripción de los muretes ensayados. Fuente: TUMIALAN, G., NANNI, A. y SAN BARTOLOMÉ, A. Comportamiento sísmico de tabiques reforzados con varillas de fibra de vidrio. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. [En línea] 2002. Disponible en web: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20070427-URM%20Infills-Varillas%20de%20fibra%20de%20vidrio.pdf>>.

El proceso de reforzamiento de IM2 e IM3, se hizo con el siguiente procedimiento:

- Hacer ranuras a lo largo de las juntas horizontales de la mampostería (mortero)
- Quitar el polvo con aire comprimido.
- Aplicar una capa de epóxico (pega).
- Colocar la varilla de fibra de vidrio en la junta
- Enrasar el epóxico

Las dimensiones del pórtico y los tabiques se indican en la imagen 3.1.2-1 el espesor de los muros fue 14cm y las varillas de vidrio utilizadas fueron de ¼" (diámetro = 62 5mm).

Cada espécimen fue ensayado en 8 fases de desplazamiento controlado: 1.0. 2.5. 5-0. 7.5. 10.0. 125. 15.0 y 180mm. En la octava fase, los tabiques IM1 e IM2 presentaron fisuras a lo largo De toda la columna y en los nudos. La imagen 3.1.2-1 muestra el espécimen IM2 al finalizar el ensayo.



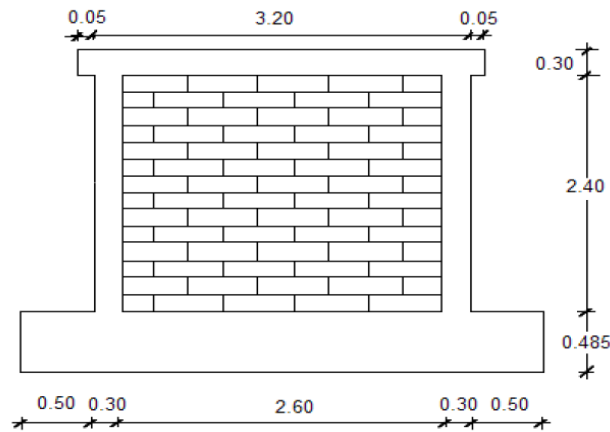


Figura 3.1.2-1 Características del muro de ladrillo reforzado con varillas de fibra de vidrio. Fuente: TUMIALAN, G., NANNI, A. y SAN BARTOLOMÉ, A. Comportamiento sísmico de tabiques reforzados con varillas de fibra de vidrio. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. [En línea] 2002. Disponible en web: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20070427-URM%20Infills-Varillas%20de%20fibra%20de%20vidrio.pdf>>.



La imagen 3.1.2-1. Fisuración del murete IM2 luego del ensayo de carga lateral cíclica coplanar. Fuente: TUMIALAN, G., NANNI, A. y SAN BARTOLOMÉ, A. Comportamiento sísmico de tabiques reforzados con varillas de fibra de vidrio. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. [En línea] 2002. Disponible en web: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20070427-URM%20Infills-Varillas%20de%20fibra%20de%20vidrio.pdf>>.

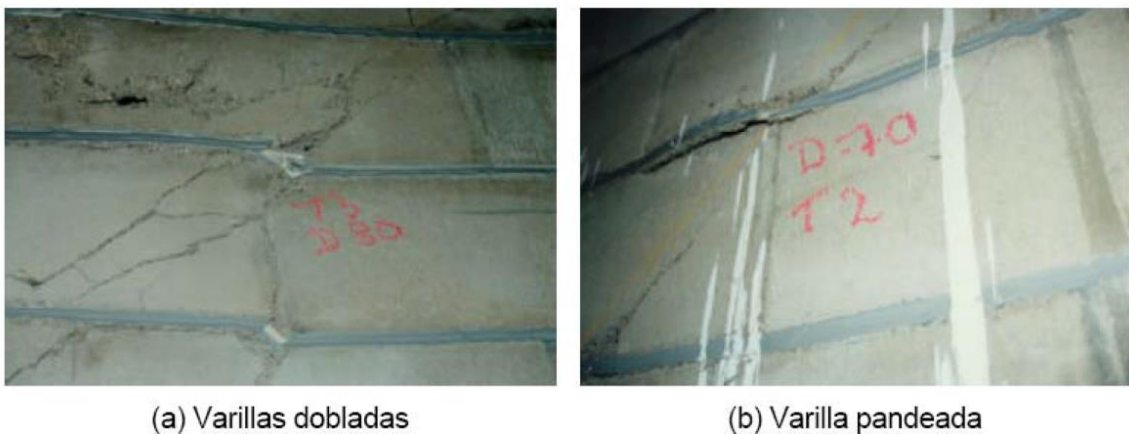
Luego del ensayo, los autores del estudio han indicado: “Se pudo apreciar que la capacidad Resistente del espécimen no reforzado IM1 empieza a decrecer cuando el desplazamiento está en 12.5 mm. Para 18.0 mm la diferencia en la resistencia entre los especímenes reforzados IM2 e IM3 y el no reforzado IM1 es aproximadamente 50%. Este



*comportamiento demuestra que los tabiques reforzados no pierden la capacidad de carga gracias a las variaciones de fibra de vidrio” [17].*

*“Con los ensayos realizados en esa investigación se pudo observar que a pesar de haber una mayor cantidad de fisuras en la mampostería reforzada con fibra de vidrio éstas son más finas que aquellas que aparecen en la mampostería no reforzada” [17].*

También se realizaron ensayos de simulación sísmica perpendicular al Plano y de carga lateral mono tónica. Con el primero se pudo determinar que los Muros de mampostería reforzados, con esta técnica, no necesitaban refuerzo por flexión, mientras que con el segundo se comprobó que al someter la mampostería a cargas transversales al plano, los tabiques podían haber colapsado, pues las fisuras diagonales que se presentaron ocasionaron que las varillas de fibra de vidrio se doblan y se pandearan (ver imagen 3.1.2-2).



**Imágenes 3.1.2-2 y 3.1.2-3.** Fallas en varillas de fibra de vidrio FRP. Fuente: TUMIALAN, G., NANNI, A. y SAN BARTOLOMÉ, A. Comportamiento sísmico de tabiques reforzados con varillas de fibra de vidrio.

*Pontificia Universidad Católica del Perú.* [En línea] 2002. Disponible en web:

<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20070427-URM%20Infills-Varillas%20de%20fibra%20de%20vidrio.pdf>.

No se tiene conocimiento sobre la aplicación de esta técnica en la rehabilitación de mamposterías, pero según indican los investigadores, tiene la ventaja de conservar el espesor original de la pared y presenta resistencia alta, a un costo de instalación bajo.

### 3.1.3 Reforzamiento con correas de acero y plásticas

Durante la “13th World conference on earthquake engineering” año 2004, en Vancouver, B.C., Canadá, los Ingenieros mejicanos Horacio Ramírez de ALBA y B. Bricia Carreon Guardado, presentaron los resultados del Estudio experimental sobre muros de mampostería reforzados con correas ACERO Y PLÁSTICO. El objetivo de este trabajo fue el estudio comparativo de métodos reforzamiento y de reparación de muros de ladrillo con estos materiales económicos y aplicación sencilla, para vivienda de bajo costo.

*“Durante etapa de estudio fueron identificados diez métodos distintos en donde las variables consideradas fueron el tipo de correa plástica o de acero, la disposición de las mismas, en forma horizontal y vertical, y los dispositivos usados para acoplar las correas al muro. Estos dispositivos se caracterizaron por tratarse de clavos de acero, pernos de anclaje, abrazaderas o cajas” [17].* Se elaboraron y ensayaron, a compresión diagonal, muretes de probeta de 360 por 360 mm, previamente reforzados, según los parámetros definidos para cada una de las 10 alternativas estudiadas (TR):

- TR 1 - Correas de acero horizontales (32 por 0,50 mm) se colocan alrededor de la pared y se fijan con clavos de acero de 50 mm o concreto. La adherencia adicional se logra con tiras de fibra de vidrio saturada con resina por, debajo de las correas de acero
- TR2 - Correas de plástico horizontales (16 por 0,8 mm) se colocan alrededor de la pared, tensionadas y fijadas con dos abrazaderas sin salida doble. La adherencia adicional se logra con tiras de fibra de vidrio impregnadas con debajo de resina de las correas de plástico.
- TR3 - Flejes de acero horizontales (32 por 0,50 mm) se colocan alrededor de la pared y se fijan en los extremos con cuatro de 50 mm clavos de acero para hormigón.
- TR4 - Correas de plástico horizontales (16 por 0,8 mm) se colocan alrededor de la pared, tensionadas y fijadas con dos abrazaderas sin salida doble. Correas de plástico verticales con una separación de 60 mm se añaden en la misma manera. Una segunda capa de correa se coloca en la primera.
- TR5 - En cada esquina de los ángulos de pared de acero con anillos de acero con costura (eslabones) son adjunta y diagonal correas de plástico se pasan a través

de los enlaces en ambos lados de la pared. Las correas se tensan con una herramienta de mano y luego se fija con dos abrazaderas sin salida doble.

- TR6 - Correas de plástico horizontales (16 por 0,8 mm) se colocan alrededor de la pared y se fijaron como en TR2. Con la ayuda de unas rayas de fibra de vidrio saturadas con resina se colocan entre la cara de la pared y las correas.
- TR7 - Correas de acero horizontales (32 por 0,5 mm) se colocan alrededor de la pared y se fijan con pernos roscados de 10 mm de diámetro, que pasa a través de la pared. En cada lado de los tornillos prisioneros se colocan una arandela y una tuerca de bloqueo.
- TR8 - Dispositivos que consisten de un acero plano con un anillo de acero soldado ( eslabón de la cadena ) se colocan en ambos extremos de la pared, se pasan las correas de acero horizontales dobles (16 por 0,5 mm) a través de los enlaces a continuación, se tensiona y se fija con abrazaderas dobles sin salida.
- TR9 - Dispositivos que consisten en una caja triangular de acero con cuatro anillos de acero con costura (eslabones) en ambos lados son unidos en cada esquina de la pared. Se pasan las correas de acero Diagonales (16 por 0,5 mm) a través de los vínculos y luego apriete y fija como en TR8.
- TR10 - Al igual que TR8 salvo que las correas de plástico (16 por 0,8 mm) se utilizan en lugar de correas de acero.

Con los ensayos, se demostró que este sistema de refuerzo aporta un aumento importante en la resistencia de los muros a esfuerzos cortantes, bien sea para reparación ( $I_1$ ) o para consolidación de muros ( $I_2$ ).

Method Identification	$\bar{I}_1$	$\bar{I}_2$	Cost USD/m <sup>2</sup>	Relation of cost (average)	Workmanship Level
TR1	1.23	1.94	7.34	1.50	3
TR2	1.39	2.45	3.49	0.71	1
TR3	1.18	2.1	5.82	1.19	2
TR4	1.21	1.74	1.16	0.24	1
TR5	1.23	1.32	4.25	0.87	1
TR6	1.35	2.37	6.65	1.36	1
TR7	1.07	1.84	6.33	1.29	3
TR8	1.18	1.96	5.16	1.06	2
TR9	2.16	2.31	4.99	1.02	2
TR10	1.39	1.3	3.71	0.76	1

**Tabla 3.1.3** Resumen de los resultados de las pruebas, en primera etapa. Fuente: RAMÍREZ, H. y CARREÓN, B. *Experimental study on masonry walls strengthened with steel and plastic straps*. Vancouver, B.C., Canadá: s.n., 2004. 13th word conference on earthquake engineering. Paper No. 1995.

Los autores incluyeron los costos de fabricación, como variable a tener en cuenta al momento de tomar la decisión de emplear alguno de estos métodos de reforzamiento. En la primera fase experimental.

Se estableció que todos los diez métodos permiten la recuperación de la resistencia original de las muestras dañadas y aumentar la tensión de cizalla de las muestras reforzadas. Teniendo en cuenta el aumento de la tensión de corte, el costo y el nivel de ejecución de los tres mejores métodos eran identificados: TR2, TR9 y TR10; Fortalecimiento: TR2, TR4 y TR10.

En la segunda etapa las pruebas adicionales se llevaron a cabo en los tres métodos más eficaces, con el fin de obtener estimaciones fiables de la capacidad de corte implícita en cada método. La variabilidad en términos del coeficiente de variación (CV) fue similar a la obtenida en aplicaciones generales de mampostería de ladrillo. Con esto fue posible proponer un criterio de diseño basado en la consideración de un esfuerzo de corte nominal de 0.343 MPa.

En la tercera etapa se probaron cuatro modelos de muros a escala natural. Los resultados muestran que la eficacia y buen rendimiento detectado en las etapas anteriores se puede extender a muros de escala natural. En este trabajo se demostró que, con la aplicación de los flejes de acero y plástico con las técnicas propuestas, se consigue una acción confinamiento que permiten la recuperación o el aumento de la capacidad y la ductilidad de paredes dañadas, además del aumento de la capacidad y la ductilidad de las paredes con propensión a sufrir daños durante, por la acción de sismos.



Imagen 3.1.3-1. Métodos TR2 y TR9 aplicados en muros de 2,60 m de largo y 2,30 m de altura. Fuente: RAMÍREZ, H. y CARREÓN, B. *Experimental study on masonry walls strengthened with steel and plastic straps*. Vancouver, B.C., Canadá: s.n., 2004. 13th world conference on earthquake engineering. Paper No.

### 3.1.4 Listones de madera

En la investigación “*Evaluación sísmica de mampostería no estructural reforzada con listones de madera*” [18], las autoras hacen un estudio comparativo de eficiencia entre muretes de mampostería simple y muretes reforzados con listones de madera, mediante ensayos en mesa vibratoria. Concluyen que el sistema ha logrado mejorar de manera significativa el comportamiento de la mampostería no estructural ante eventos sísmicos.

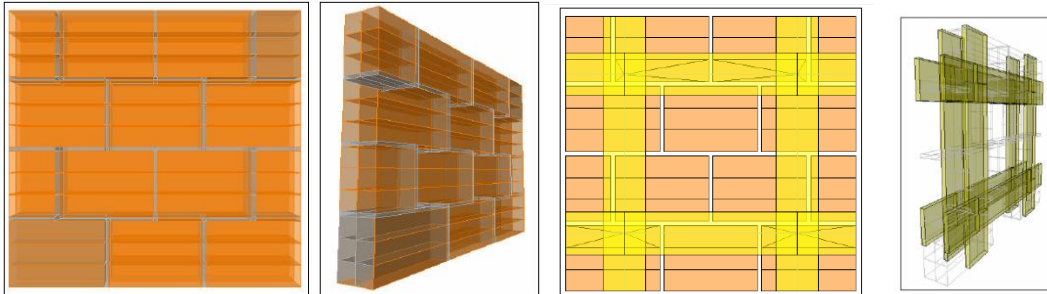


Imagen 3.1.4-1. Modelación del murete no reforzado 1; Imagen 3.1.4-2. Modelación del murete no reforzado 2; Imagen 3.1.4-3. Modelación del murete reforzado con madera 1; Imagen 3.1.4-4. Modelación del murete reforzado con madera 2. Fuente: MOLANO, M. y SERRANO, A. Rehabilitación sísmica de mampostería no estructural reforzada con listones de madera [Tesis de grado]. Bogotá, D.C.: Pontificia Universidad Javeriana, 2005.

Se citan las principales de conclusiones, de esta investigación:

- *“Se obtuvo un aumento del 26,9% en la resistencia al corte de los muretes reforzados en relación a los no reforzados.*
- *La resistencia a la flexión sobre Juntas verticales y horizontales presentó un incremento de 329.9 % y de 665.7 % respectivamente.*
- *Se observó que con el uso del sistema de refuerzo se logra mantener la integridad estructural del muro al ser sometido a los diferentes esfuerzos aplicados en los ensayos de laboratorio.*
- *El sistema de refuerzo logra que las piezas no se separen catastróficamente una vez se genera la falla por tracción diagonal, evitando un comportamiento de falla frágil, lo que da como resultado un notable mejoramiento en la integridad del sistema estructural.*
- *Habiendo calculado una ductilidad al desplazamiento, con base en los ensayos a flexión, se determina un aumento en el coeficiente de disipación de energía  $R$  a un valor entre 1.5 y 2.0. comparado con el exigido en la NSR- 98 en donde se exige se diseñe con un valor de 1.0.*

- Se recomienda rellenar los bloques en los cuales se encuentren ubicados los anclajes haciendo uso de mortero (mortero de relleno), con el fin de evitar posibles desprendimientos de los estos ante la acción de cargas sísmicas de gran magnitud.
- Se obtuvo resultados satisfactorios pese a haber utilizado la madera de más bajo perfil en el mercado, ya que lo que se buscó desde un principio fue un aporte mayoritariamente en confinamiento. No obstante, es claro que la presencia de la madera generó incrementos relativamente importantes en resistencia.
- Este sistema de refuerzo no presenta mayores sobre costos lo cual puede observarse en el análisis de Precios Unitario” (Tabla 3.1.4). [19]

Instalación del sistema de refuerzo m <sup>2</sup>					
Ref	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Mano de obra	Cuadrilla mampostería (of+ayud)	hc	0,8	10202	8161,6
	Listones de madera	ml	8	731	5848
Materiales	Varillas	ml	0,8	2100	1680
	Arandela	lb	0,08	3200	256
	Pernos	un	8	42	336
	Mortero de pega (1:3)				
	Cemento	Kg	3,33	350	1165,5
	Arena lavada de peña	m3	0,0077	25000	192,5
	Agua	lt	1,62	12	19,44
	Bloque No 5	un	13	897	11661
	Mortero de relleno (1:3)				
	Cemento	Kg	7,84	350	2744
	Arena lavada de peña	m3	0,018	25000	450
	Agua	lt	3,8	12	45,6
	<b>Total</b>				

Tabla 3.1.4: Análisis de precios unitarios del reforzamiento con listones de madera (los precios dados corresponden a Pesos Colombianos del 2005). Fuente: MOLANO, M. y SERRANO, A. Rehabilitación sísmica de mampostería no estructural reforzada con listones de madera [Tesis de grado]. Bogotá, D.C.: Pontificia Universidad Javeriana, 2005.

Según indican las autoras de la investigación, el estudio se hizo bajo los parámetros establecidos en el TÍTULO G de la Norma NSR-98, muchos de los cuales continúan vigentes en el TÍTULO G- ESTRUCTURAS DE MADERA Y ESTRUCTURAS DE GUADUA del Reglamento NSR-10.

Aun cuando no se tiene conocimiento sobre experiencias con esta técnica, es muy factible su aplicabilidad en Colombia, por economía y sencillez constructiva.

### 3.1.5 Reforzamiento con PET reciclado

Dentro de los polímeros termoplásticos que son reciclables están el tereftalato de polietileno (PET), el polietileno, el polipropileno, el poli-cloruro de vinilo y materiales relacionados, el poli-estireno, los derivados acrílicos y los cauchos. En el caso del PET, los recipientes que se producen son 100% reciclables. Los recipientes usados deben de ser coleccionados y enviados a plantas industriales, en las cuales los transforman en hojuelas de PET como material base para producir nuevos productos. En la figura 3.1.5-1 se ilustra el ciclo de vida de un recipiente de PET.



Figura 3.1.5-1 ciclo de vida de un recipiente de PET Fuente: MASÍAS, L. y ÍTALO, D. Diseño de un molde para la fabricación de probetas de materiales compuestos de matriz plástica y refuerzos de fibras naturales mediante compresión térmica PUCP [Tesis de grado]. Lima: Pontificia Universidad Católica de Perú, 2011.

El uso de este material fue estudiado por el Ing. Mauricio Serrano Torres, en su tesis de grado, “*Reforzamiento de estructuras de mampostería con láminas de tereftalato de polietileno*” [18], para optar el título de Ingeniero Mecánico. Dentro de esta investigación se adelantaron ensayos a varios tipos de láminas de PET reciclado, fijadas a muros de bloque de arcilla, mediante diferentes tipos de adhesivo para PET “*los cuales en la mayoría de los casos, ante los esfuerzos sometidos, degradaron las láminas haciéndoles perder su resistencia a la tensión. Finalmente, un adhesivo 414, fue el escogido en el sistema de reforzamiento*” [19].



Se hicieron ensayos a tensión sobre muestras de láminas rígidas cristalizada y láminas flexibles. “La primera mostró muy poca deformación y su ruptura fue súbita sin fluencia previa, sin embargo, su resistencia fue mejor comparada con las láminas flexibles” [18]. Posteriormente, las muestras de láminas flexibles, “las cuales aportaron ductilidad y presentando falla, luego de su elongación en algunos casos hasta un 164% de deformación sin ruptura. De acuerdo con esto, se puede evidenciar que la resistencia para las láminas rígidas, supera en más del doble a las láminas flexibles. Esto obedece a que entre menos se deforme la lámina, más se podrá trabajar sobre el muro aportando resistencia a la: diferentes fuerzas aplicadas (tensión, flexión y corte)” [20].

Lamina Flexible	Sy= 50.35	E= 2151.5 Mpa
Lamina Rígida	Sy= 62.95	E= 5418.2 Mpa

Tabla 3.1.5. Ensayos con láminas PET. Fuente: SERRANO, M. Reforzamiento de estructuras de mampostería con láminas de tereftalato de polietileno [Tesis de grado]. Bogotá, D.C.: Universidad de los Andes, 2004.

Los resultados de la investigación dan cuenta que al comparar los ensayos realizados en muretes sin refuerzo, frente a los realizados con las láminas PET flexibles, su aporte a la resistencia no fue el esperado, pues se obtuvieron resultados muy similares para ambos casos. “Para que las láminas de PET puedan alcanzar a resistir los esfuerzos aplicados, se necesitarían dimensiones de mayores que incluso sobrepasarían las áreas de la mampostería a reforzar” [20].

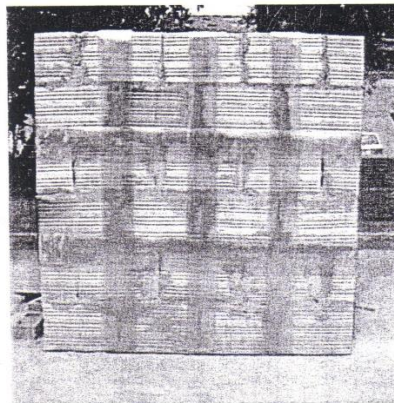


Imagen 3.1.5-1. Reforzamiento con láminas de tereftalato de polietileno (PET). Fuente: SERRANO, M. Reforzamiento de estructuras de mampostería con láminas de tereftalato de polietileno [Tesis de grado]. Bogotá, D.C.: Universidad de los Andes, 2004.



## 3.2 Reforzamiento con mallas

Investigaciones recientes han demostrado la efectividad de este sistema para reforzar muros de mampostería, sin refuerzo y acopladas a estructuras de concreto. Estos muros no reforzados, generalmente, se han vinculado a otros muros transversales, a través de conexiones dentadas, que de acuerdo a las enseñanzas dejadas por terremotos pasados, resultan ineficaces para evitar el volcamiento de muros ante a fuerzas sísmicas perpendiculares al plano de la fachada.

Estos sistemas de reforzamiento se caracterizan por adherir a las mamposterías mallas metálicas o de polímeros, que se encargan de fijar los muros y convertir el comportamiento sísmico frágil, en un sistema de disipación de energía que permite absorber las fuerzas sísmicas, previniendo los peligros de falla frágil, desprendimiento y caída de muros de fachada.

Las mallas contribuyen a disminuir la fragilidad de los muros simples, pues incrementan el comportamiento dúctil de la mampostería. Los filamentos, dispuestos en varias direcciones, ayudan a absorber las fisuras, y a amortiguar las eventuales fallas explosivas, al evitar que las piezas de mampostería se separen de los muros. Para ello, hay que fijar las mallas con los elementos estructurales de la edificación y dejar traslapos suficientes entre las mallas.

Una gran ventaja en la utilización de mallas, es la flexibilidad que éstas tienen, para su instalación. Se pueden colocar de forma continua, adaptarse a esquinas y a todo tipo de superficies. También se pueden disponer en franjas verticales y horizontales, para fortalecer las zonas vulnerables de las mamposterías.

Las mallas pueden ser fijadas a los muros con anclajes, mecánicos o químicos, clavos de tiro o grapas metálicas. También pueden ser amarradas, interconectando las mallas colocadas a ambos costados de un muro, entre sí, con alambres a través de perforaciones por la pared.

### 3.2.1 Malla electro soldadas

En la Pontificia Universidad Católica del Perú, se ha adelantado múltiples investigaciones de reforzamiento de muros con mallas, fijadas a ambos lados de la mampostería, para luego ser recubiertas con pañetes, fabricados con morteros de cemento-arena. En esta línea, está la investigación denominada: “Arriostramiento de tabiques de albañilería existentes en fachadas de edificios con voladizos” [20]. En la cual, los autores analizaron tres módulos especialmente diseñados, para establecer comparativos:

- 1) Muro tradicional no reforzado (TT), adoptado como patrón de comparación
- 2) Muro reforzado con malla de alambre electro-soldada (TRM).
- 3) Muro reforzado mediante un pañete (TRT) rico en cemento y de un espesor considerable, capaz de proporcionar resistencia a tracción en el encuentro entre muros y en las uniones con el pórtico.

Los tres módulos tenían como dimensiones 3.90 m, de largo, x 0.90 m, de ancho y 2.55 m de altura (Figura 3.2.1-1). La estructura, tipo aporticada, de concreto armado ( $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ ) con 2 columnas de 15x30 cm y vigas de 15x15 cm. La estructura fue construida antes que la mampostería. Los muros tuvieron 11 cm de espesor. Las paredes transversales (paralelas a la dirección del movimiento) tuvieron una dimensión de 0.60 x 2.40 m, mientras que la pared perpendicular a la dirección del movimiento fue de 3.90 x 2.40 m con una ventana de 1.20 x 1.20 m, centrada en el muro. Los tabiques TT y TRM, no se pañetaron

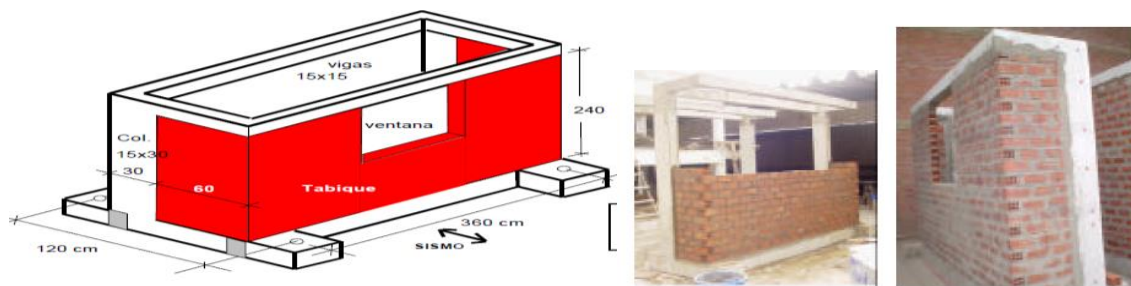


Figura 3.2.1-1. Configuración de los módulos. Imágenes 3.2.1-1. y 3.2.1-2 Configuración de los módulos de prueba con mallas (de izquierda a derecha). Fuente: SAN BARTOLOMÉ, A., ARATA, A. y DÍAZ, V. Investigación, arriostramiento de tabiques de albañilería existentes en fachadas de edificios con voladizos. Universidad Católica del Perú. [En línea] 2007. Disponible en web: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20070424-Arriostramiento%20de%20tabiques%20existentes.pdf>>.

La técnica de ensayo empleada, en los 3 módulos fue la de simulación sísmica en mesa vibradora (Figura 3.2.1-2). La señal sísmica utilizada, fue la correspondiente al terremoto del 31 de mayo de 1970, con 30 seg. de duración y una frecuencia predominante de 2.4 Hz. La intensidad del sismo fue variable, tratándose de simular sismos leves, moderados y severos, para lo cual se controló el desplazamiento de la mesa vibradora

Los resultados están graficados en la Figura 3.2.1-3., en donde se visualiza que el coeficiente sísmico de los muros reforzados TRM y TRT son similares, y que en ambos casos, el coeficiente sísmico máximo fue 3.4 veces mayor, respecto a al coeficiente sísmico obtenido previo al colapso del muro no arriostrado TT, lo cual indica la validez de cualquiera de las 2 técnicas de reforzamiento estudiadas.

La técnica de reforzamiento con malla de alambre electro-soldada, fue utilizada en viviendas de adobe. Las viviendas reforzadas tuvieron un desempeño adecuado, durante el terremoto del 23-de junio de 2001.

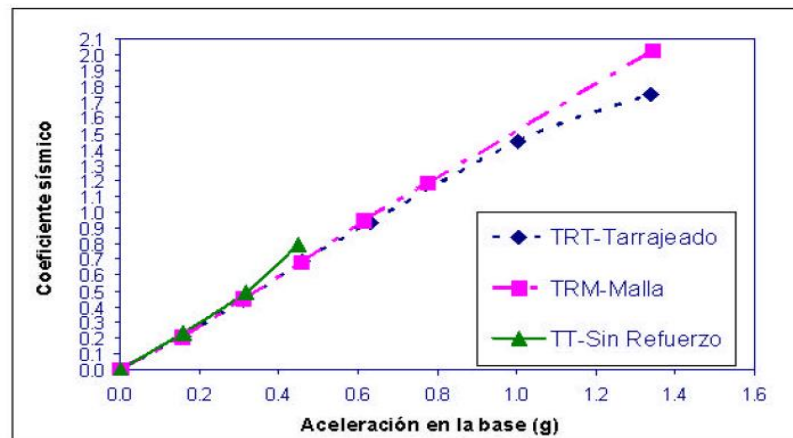


Figura 3.2.1-2 Variación del coeficiente sísmico “c” frente a las aceleraciones “Ao”. Fuente: SAN BARTOLOMÉ, A., ARATA, A. y DÍAZ, V. Investigación, arriostramiento de tabiques de albañilería existentes en fachadas de edificios con voladizos. *Universidad Católica del Perú*. [En línea] 2007. Disponible en web: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20070424-Arriostramiento%20de%20tabiques%20existentes.pdf>>.

Los autores indican: en el estudio “no se contempla la amplificación de las aceleraciones horizontales que podría existir en los tabiques ubicados en los niveles superiores de un edificio, tampoco se contempla el movimiento sísmico vertical que podrían tener las vigas en voladizo (soporte de los tabiques) ubicadas en la fachada de los edificios” [19].

No obstante estas consideraciones, el estudio demostró los siguientes aspectos:

- *“El tabique no reforzado tuvo una falla frágil, volcándose ante la acción de un sismo moderado. Esta forma de falla es muy peligrosa para las personas que transitan o escapan del edificio afectado, por lo que es necesario arriostrar estos tabiques.*
- *Los tabiques arriostrados pudieron soportar sismos muy severos, por lo cual se les tuvo que hacer pruebas adicionales para provocar su colapso y así determinar su resistencia última.*
- *La resistencia última de los tabiques arriostrados superó en exceso a la fuerza sísmica reglamentaria de diseño, por lo que es posible reducir el arriostramiento*
- *El costo de los arriostramientos propuestos fue casi del orden del 50% del costo correspondiente a la reposición de un tabique nuevo (43% para TRM y 52% para TRT). Pese a este alto costo, es más importante preservar las vidas humanas a tener que esperar que el tabique colapse para después reponerlo y, posiblemente, vuelva a colapsar ante otro sismo, con lo cual, el costo por arriostrar en forma preventiva iría diluyéndose.*
- *Es necesario continuar esta línea de investigación buscando otras técnicas más económicas que las analizadas, pero que permitan arriostrar a los tabiques existentes en forma adecuada.*
- *Para el caso de tabiques nuevos, puede emplearse la malla electro-soldada como elemento de arriostre, esta malla permite incluso un mejor engrampe tarrajeo-tabique, lo que evita la posibilidad de que el tarrajeo se desprenda por la acción vibratoria del sismo” [21].*

También se ha investigado la aplicación de esta técnica de reforzamiento en la reparación de muros afectados por sismo, usando mallas electro soldadas y grapas de acero.

En el documento *Reparación de un muro de albañilería confinada” [22]* se ha hecho evidente que luego de ser reparado y reforzado el muro de mampostería, se logró incrementar la resistencia a la tracción diagonal R1 hasta en un 40%. El proceso está ilustrado en la imagen 3.2.1-2.



Imágenes 3.2.1-3., 3.2.1-4., 3.2.1-5., 3.2.1-6. Proceso de reforzamiento con grapas, malla electro-soldada y pañete. Fuente: SAN BARTOLOMÉ, A., ARATA, A. y DÍAZ, V. Investigación, arriostramiento de tabiques de albañilería existentes en fachadas de edificios con voladizos. *Universidad Católica del Perú*. [En línea] 2007. Disponible en web: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20070424-Arriostramiento%20de%20tabiques%20existentes.pdf>>.

En la Figura 3.2.1-3 se puede observar el incremento de la resistencia del muro reforzado con malla electro soldada con relación al original. Mientras que el muro no reforzado empezó a fallar a partir de 9 mm, de desplazamiento, el muro reforzado lo hizo a partir de 14 mm. esto demuestra la eficacia de la técnica aplicada [21].

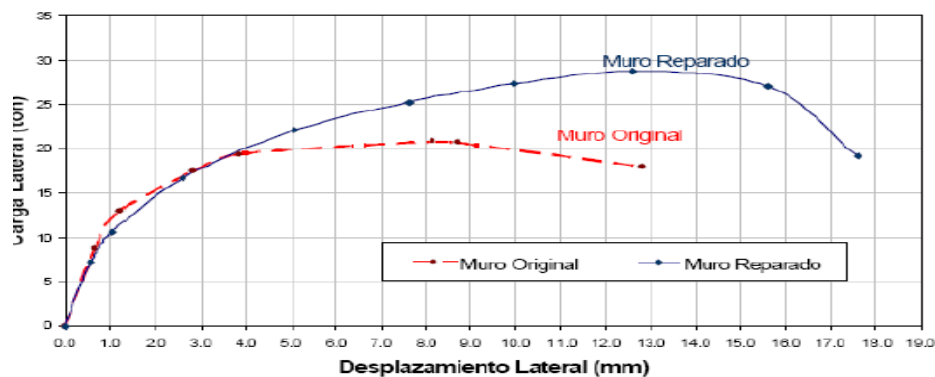


Figura 3.2.1-3 Envolvente de carga lateral máxima. Fuente: SAN BARTOLOMÉ, A y CASTRO, A. Investigación Reparación de un muro de albañilería confinada. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. [En

línea] 2007. Disponible en web: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20070427-Reparaci%F3n-Muro%20Confinado%20.pdf>>.

En la investigación denominada “*Control de la trituración de los ladrillos huecos mediante malla Electro soldada en muros de albañilería confinada*” [22] El grupo investigador Peruano, evaluó el comportamiento de muros de albañilería simple hecha con ladrillos huecos (con más de 30% de huecos en sus caras de asiento), y mortero 1:4, donde obtuvieron “*una resistencia a compresión axial  $f'm = 78 \text{ kg/cm}^2$  y a corte puro  $v'm = 7.2 \text{ kg/cm}^2$ , mostrando en los ensayos de ambos casos la trituración de los ladrillos huecos. La trituración de los ladrillos huecos ocurrió después de haberse formado las grietas diagonales, causando una gran degradación de la resistencia a fuerza cortante*” [21]. En otro aparte se indica: “*La trituración de los ladrillos huecos fue mucho mayor cuando se sometió al muro M1 a un ensayo armónico ( $f = 2 \text{ Hz}$ ), con un desplazamiento lateral (15mm) menor al máximo empleado en el ensayo estático previo (20mm)*” [23].

También se analizaron muros confinados, construidos con los mismos materiales, dimensiones y refuerzo en los confinamientos, adicionándole malla electro-soldada y pañete en cada cara del muro. Los muros fueron ensayados a carga lateral cíclica con desplazamiento lateral controlado, Los resultados indican como “*El mayor espesor (48%) de M2 sobre M1 hizo que su rigidez lateral inicial, la carga asociada a la fisura de tracción por flexión, la resistencia al agrietamiento diagonal y la resistencia máxima sean 65%, 77%, 50% y 48%, respectivamente*” [23].

Con ello se ha determinado que esta técnica puede ser aplicada en edificaciones construidas con mampostería de ladrillos o bloques huecos, pues la malla cierra las fisuras del muro y evita la trituración de las unidades de mampostería, en especial en su zona central.

En la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá se adelantó una investigación para el reforzamiento de muros con listones de madera. En uno de sus apartes se indica “*se pudo demostrar que los muros de mampostería no estructural, sin refuerzo, desarrollan una resistencia mucho menor, que aquellos reforzados con malla electro soldada. Los resultados de su trabajo de laboratorio se pueden apreciar en las imágenes 3.2.1-3 y 3.2.1-4. donde ambos muros fueron sometidos al mismo tipo de magnitud de carga*” [19].



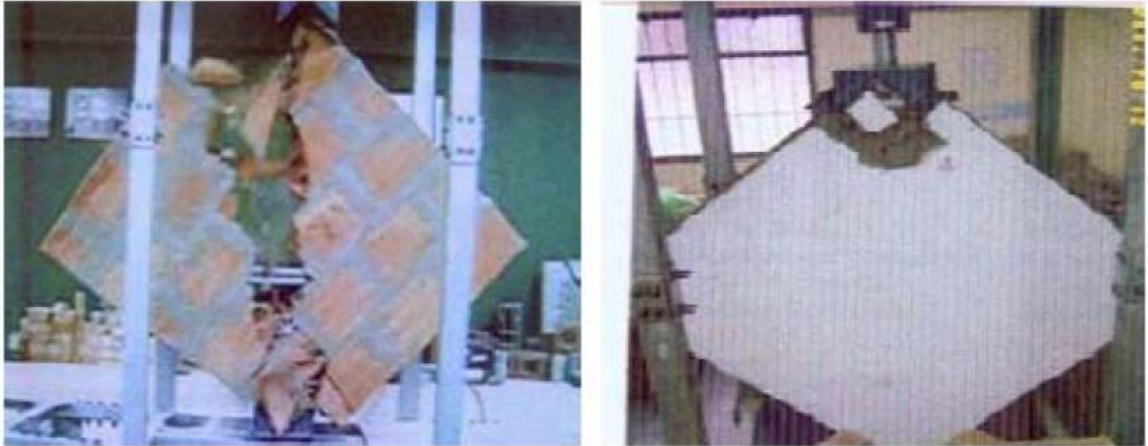


Imagen 3.2.1-7. Comportamiento de un muro de mampostería no estructural sin refuerzo; Imagen 3.2.1-8. Comportamiento de un muro de mampostería con refuerzo de malla electrosoldada. Fuente: MOLANO, M. y SERRANO, A. Rehabilitación sísmica de mampostería no estructural reforzada con listones de madera [Tesis de grado]. Bogotá, D.C.: Pontificia Universidad Javeriana, 2005.

El Reglamento NSR-10, regula la aplicación de esta técnica en el diseño y construcción de mampostería estructural, en su Capítulo D.12 MAMPOSTERÍA REFORZADA EXTERNAMENTE. [2], en donde se establecen las siguientes condiciones:

- **“D.12.1.2.1 — Unidades de mampostería** — Las unidades de mampostería utilizadas en este sistema pueden ser de concreto, arcilla cocida o silicio calcáreas, macizas, de perforación vertical u horizontal, y deben cumplir las normas establecidas para las unidades de mampostería establecidas en D.3.6
- **D.12.1.2.2— Mortero de pega**— Los morteros de pega para este sistema de mampostería deben cumplir lo establecido en D.3.4.
- **D.12.1.2.3— Mortero de revoque**— Los morteros de recubrimiento o de revoque (pañete) son similares a los morteros de pega descritos en D.3.4, pero utilizando arenas finas que cumplan con las especificaciones de las Normas **ASTM C-926 y ASTM C-897**.
- **D.12.1.3 — ESPESOR MÍNIMO** — Los muros de este tipo de mampostería deben tener un espesor real total no menor de 130 mm, los cuales corresponden a 90 mm de espesor real mínimo del muro de mampostería y a 20 mm de espesor mínimo de mortero de revoque en cada uno de los 2 lados del muro.
- **D.12.1.4 — RESISTENCIA MÍNIMA** — La resistencia de la mampostería  $f_m'$  no puede ser inferior a 8 MPa. La resistencia del mortero de recubrimiento o revoque (pañete)  $f_{c're}$  debe ser como mínimo de 12.5 MPa” [2].

El Reglamento NSR 10, también prevé la aplicación de una metodología para el reforzamiento estructural de viviendas, en su Capítulo E.7 BAHAREQUE ENCEMENTADO, un sistema constituido por dos partes principales: el entramado y el recubrimiento, conformando un sistema compuesto.

- **E.7.3.2.1 — Entramado** — *El entramado está constituido por dos soleras o elementos horizontales, inferior y superior, y pie-derechos o elementos verticales, conectados entre sí con clavos o tornillos. El marco del entramado, es decir las soleras y el pie-derechos exteriores, pueden construirse con guadua o con madera aserrada. El resto del entramado se construye con guadua. Puede contener diagonales.*
- **E.7.3.2.2 — Recubrimiento** — *El recubrimiento se fabrica con mortero de cemento aplicado sobre malla de alambre, tal como se especifica en E.7.4.5. La malla debe estar clavada sobre esterilla de guadua, o sobre un entablado. La esterilla debe ir anclada a los pie-derechos mediante clavos y alambre dulce trenzado entre los clavos” [2].*



### 3.2.2 Malla de polímero

El reforzamiento de mampostería con mallas de polímero es similar al reforzamiento con malla electro-soldada. El profesor Daniel Torrealva Dávila, de la Pontificia Universidad Católica de Perú, adelantó la investigación denominada: “*Refuerzo de muros y tabiques de albañilería con mallas de polímero*” [23], para analizar el comportamiento de los muros de ladrillo macizo, con y sin refuerzo de mallas de polímero, ancladas a ambos lados de los paneles usando conectores de acero separados 40 mm horizontal y verticalmente. Las mallas quedaron embebidas en pañetes de 2 centímetros, de espesor, según se ilustra en las imágenes 3.2.2-1 y 3.2.2-2.



Imagen 3.2.2-1. Fijación de la malla de polímero; Imagen 3.2.2-2. Reforzamientos con malla de polímero y pañete. Fuente: TORREALVA, D. Refuerzo de muros y tabiques de albañilería con mallas de polímero. Pontificia Universidad Católica del Perú. [En línea] 2007. Disponible en web: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20071017-Torrealva-Polimero.pdf>>.

Se ensayaron 12 paneles cuadrados de 1.20x1.20 m a cargas cíclicas de corte en el plano y 12 paneles de 0.80x1.60 m, a cargas monotónicas fuera de plano. En los ensayos a corte y compresión se obtuvo un aumento del 40% de la resistencia en los paneles reforzados con relación a los de mampostería simple. En los ensayos a flexión, el aumento de la resistencia fue del 50%, demostrando que este sistema de reforzamiento cambia el comportamiento sísmico frágil en un sistema de disipación de energía, que permite que la mampostería, acoplada a las estructuras de concreto armado, resista las fuerzas de sismo satisfactoriamente.

Dentro de las conclusiones del estudio del profesor Torrealva, podemos extractar:

- “*Si bien los ensayos han sido realizados con una malla especialmente diseñada para ser usada como refuerzo de mampostería, los resultados del comportamiento son también aplicables a las geo mallas de polímero.*”

- *Los paneles simples y sin refuerzo muestran fisuras limpias aproximadamente a lo largo de una o dos diagonales del panel mientras que los paneles reforzados están caracterizados por una malla de grietas dispersas. Este resultado, sugiere que para el colapso del panel se requiere de la formación de un gran número de superficies de falla con un valor más alto de resistencia última y de disipación de energía. Los ensayos de flexión han demostrado los efectos positivos del refuerzo con la malla en todos los parámetros mecánicos significativos como son la carga última, los desplazamientos últimos y la disipación de energía.*
- *La gran distribución de fisuras especialmente en los paneles a flexión sin carga vertical pone en evidencia la benéfica contribución de la malla para mitigar los picos de daño y para incrementar la disipación de la energía debido a la propagación del daño.*
- *La fragilidad que parece tener el tarrajeo en los muros simples se elimina debido a que la malla incrementa el comportamiento dúctil del panel.*
- *Los resultados experimentales indican que este tipo de refuerzo puede utilizarse para reforzar tabiques de ladrillo cuidando que la malla esté traslapada con los elementos de concreto armado. La flexibilidad de la malla provee continuidad en las esquinas, ya que puede colocarse en forma continua” [24].*

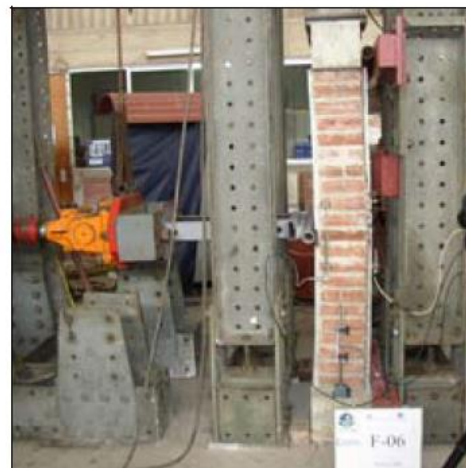


Imagen 3.2.2-3. Ensayo de paneles a corte-compresión; Imagen 3.2.2-4. Ensayo de paneles a flexión.  
Fuente: TORREALVA, D. Refuerzo de muros y tabiques de albañilería con mallas de polímero. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. [En línea] 2007. Disponible en web:  
<<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20071017-Torrealva-Polimero.pdf>>.

### 3.2.3 Mallas con polímeros PP-Band

En el documento: “*Report on the state-of-the-art in the seismic retrofitting of unreinforced masonry houses by PP-Band meshes*” [24] de el International Center for Urban Safety Engineering Institute of Industrial Science, de la Universidad de Tokyo. El programa experimental fue diseñado para verificar la eficiencia técnica de acondicionamiento de las mallas con PP- band y para desarrollar una herramienta numérica para el cálculo y optimización del proceso de construcción de reforzamiento. Este programa tuvo dos fases, en la primera se hicieron pruebas de laboratorio a los materiales usados en las pruebas y en la segunda, se adelantaron ensayos de cizallamiento en cuatro paredes reforzadas y cuatro no reforzadas.

En la tercera etapa de la investigación, se invirtió la dirección de desplazamiento de la mesa vibratoria y se cargó la muestra hasta que apareció una grieta de corte diagonal en la dirección opuesta. En la cuarta etapa, la pared se cargó 10 mm más en la misma dirección. Debido a que la rigidez de la malla es mucho menor que la del muro, la eficiencia de ésta se observa luego de que aparecieron grietas en la pared. El aporte de estas mallas radica en que, una vez el muro se ha casi destruido, la malla es capaz de contener el material, sin que la pared colapse.

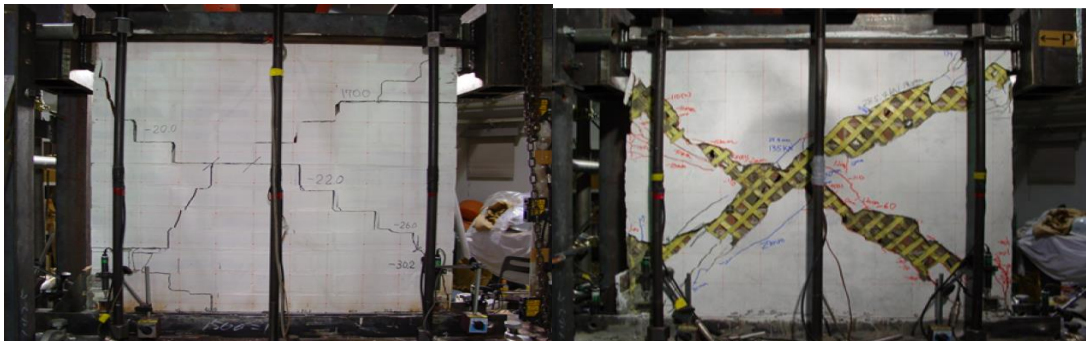


Imagen 3.2.3-1. Fallas típicas de un muro de mampostería no reforzada; Imagen 3.2.3-2. Fallas típicas de muro reforzado con bandas de polímero PP Band. Fuente: MAYORCA, P., NAVARATNARAJ, S., y MEGURO, K. *Report on the state-of-the-art in the seismic retrofitting of unreinforced masonry houses by PP-Band meshes*. Tokyo: International Center for Urban Safety Engineering. Institute of Industrial Science. University of Tokyo, 2006.

Con la finalidad de entender la respuesta dinámica de casas de mampostería simple reforzadas con malla PP- band, se construyeron dos modelos a escala 1: 4, con ladrillos cocidos y mortero de cemento, cal y arena, en proporción 1:8:20.

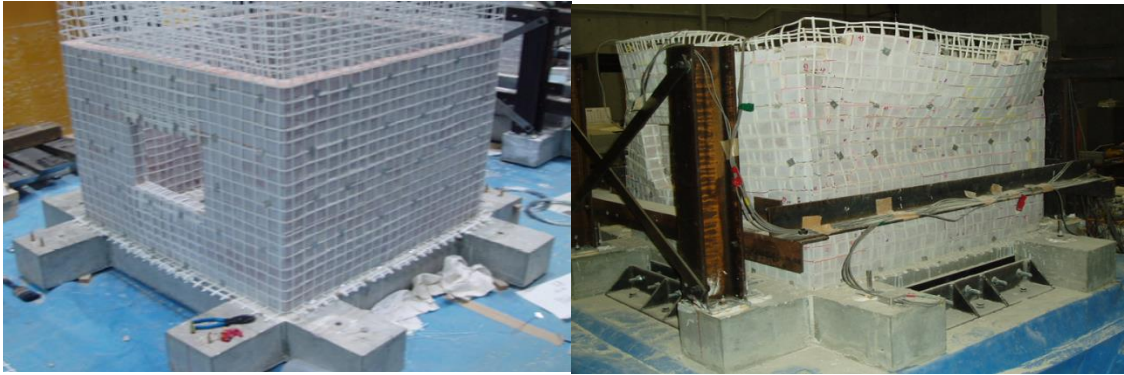


Imagen 3.2.3-3. Ensayos del sistema “PP Band” (antes); Imagen 3.2.3-4. Ensayos del sistema “PP Band” (después). Fuente: MAYORCA, P., NAVARATNARAJ, S., y MEGURO, K. *Report on the state-of-the-art in the seismic retrofitting of unreinforced masonry houses by PP-Band meshes*. Tokyo: International Center for Urban Safety Engineering. Institute of Industrial Science. University of Tokyo, 2006.

Con los ensayos en mesa vibratoria se demostró que la resistencia residual, después de la aparición de la falla diagonal, fue mayor en un 50% de la resistencia máxima. Las paredes reforzadas mantuvieron su resistencia, incluso después de las grandes derivas laterales. Dentro de las conclusiones establecidas por los autores del estudio, están:

- *“En el presente estudio utilizaron materiales de fácil consecución, lo cual permitió obtener resultados sobre la adherencia, la cohesión, la fuerza de compresión, etc. Sin embargo, también se incluyeron cargas de fractura en tensión y cizallamiento. Durante el programa experimental, fue evidente, que no es fácil la obtención de estos parámetros debido a la fragilidad de los muretes. y que se necesitan dispositivos de medición de alta precisión para medirlos.*
- *Hay poca información disponible en la literatura con respecto a los rangos en los que las energías de fractura de mortero de albañilería fluctúan. Por lo tanto, sería deseable incrementar este conjunto de datos experimentales.*
- *También es necesaria la extensión del método de los elementos aplicados para el análisis 3D. Esta mejora permitirá la discusión del comportamiento de la mampostería fuera de plano y la interacción entre las paredes adyacentes. Como se mencionó antes, se observan estos fenómenos durante los terremotos y puede resultar en el colapso de la estructura.*
- *El efecto de adaptación de estos modos de fallo puede ser también investigado por el enfoque 3D. Este punto se encuentra actualmente en fase de desarrollo. Por último, la verificación del modelo de bajo cargas dinámicas es un paso necesario para analizar los datos experimentales de la tabla” [25].*

### 3.2.4 Tejido bidireccional de fibra de vidrio

Como ya se indicó en el numeral 3.1., el GFRP es un polímero fabricado a partir de fibra de vidrio entretejidas a una matriz de resina de polímeros. La fibra le brinda al material compuesto gran resistencia a tracción, dureza, resistencia al ataque químico y flexibilidad se elaboran a partir de sílice, en proporción que va entre el 50% al 70% de su composición.

Para el reforzamiento de muros, se han utilizado tejidos de fibra de vidrio conocidos como Wrap cuya disposición es bidireccional, a modo de mallas tejidas, Con el sistema de pegado de tejidos mediante la adhesión del tejido sobre la superficie, se logra mejorar la capacidad portante de los muros contra cualquiera de las cargas transversales a su plano. Los tejidos de fibra vienen en diferentes gramajes, lo que permite diferentes grados de resistencia

La Empresa Italiana MAPEI ha desarrollado el sistema de reforzamiento de muros, MAPEWRAP EQ, para ser usado al interior y al exterior de la edificación. Está compuesto de tres elementos que se aplican en capas. Adhesivo, tejido y mortero para enlucido. Las características técnicas de la red de fibra de vidrio, son: Gramaje de la es de 285 g/m<sup>2</sup>; Módulo de tracción 42 GPa; Resistencia a la tracción > 1620 N/mm<sup>2</sup>; Ancho 100 cm.

El proceso de ejecución del puede realizarse por vía húmeda, con el siguiente procedimiento:

- Preparación y limpieza de la superficie
- Imprimación de adhesivo líquido de poliuretano, con rodillo
- Impregnación del tejido de fibra de vidrio (Red)
- Aplicación de una segunda capa de adhesivo
- Enlucido de acabado con un mortero, compuesto de yeso, arena y cal

La Empresa fabricante ha promovido Investigaciones experimentales en la Facultad de Ingeniería de la Università Degli Studide Napoli Federico II, en donde se adelantaron ensayos, en mesa vibratoria, de un muro de bloque de arcilla, tipo panel, no reforzado y de otro similar, recubierto con tejido de fibra de vidrio con el sistema MAPEWRAP EQ. En sus dos costados.



La imagen 3.2.4-1 muestra que el muro reforzado (lado derecho) presentó una falla, en la esquina del vano, en tanto el muro no reforzado, (lado izquierdo) colapso por fallas en la base y las esquinas de los vanos.



Imagen 3.2.4-1. Ensayos del sistema "MAPEWRAP EQ SYSTEM". Fuente . Fuente: MORANDI, G. La Facultad de Ingeniería de la "Università degli Studi di Napoli Federico II. Italia: s.n., 2013

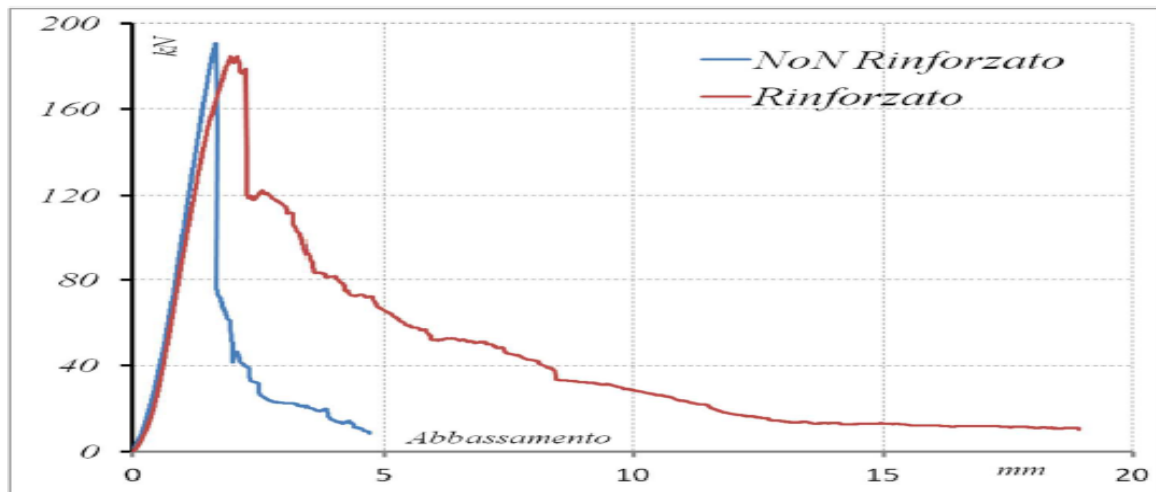


Figura 3.2.4.-1 Deformación de un muro no reforzado y de reforzado con el sistema. MAPEWRAP EQ., sometidos a cargas de compresión diagonal. Fuente: MORANDI, G. La Facultad de Ingeniería de la "Università degli Studi di Napoli Federico II. Italia: s.n., 2013.

El muro no reforzado colapsó por rotura y desplazamiento fallas y distorsión en su base. Además de roturas por flexión en las esquinas de los vanos.

El muro reforzado presentó una fisura de menor grado en la esquina del vano. La imagen 3.2.4-2 evidencia que el tejido de fibra de vidrio evitó la rotura y colapso. Los fabricantes indican que esta condición previene y retarda los procesos de fisuración, rotura y caída de partes de muro, permitiendo la evacuación de las edificaciones afectadas por sismo de manera segura.



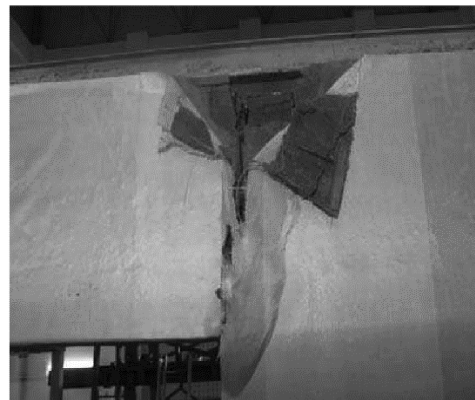
**Parete NON rinforzata:  
fessure per flessione**



**Parete NON rinforzata:  
fessure per taglio alla base**



**Collasso della parete  
NON rinforzata**



**Fessure per flessione sul modello Rinforzato  
dopo la tensione di rottura**

Imagen 3.2.4-2 Daño por flexión en muro no reforzado (superior izquierda), Imagen 3.2.4-3 Fallo de la base de un muro no reforzado (superior derecha), Imagen 3.2.4-4 Colapso de un muro no reforzado (inferior izquierda), Imagen 3.2.4-5., Fisura por flexión en muro reforzado llevado hasta la rotura (inferior derecha) . Fuente: MORANDI, G. La Facultad de Ingeniería de la "Università degli Studi di Napoli Federico II. Italia: s.n., 2013.

Los autores del estudio, dan las siguientes conclusiones:

- “El panel de ladrillo del fue ensayado con una frecuencia típica para el terremoto ( $f_1 = 6,5$  Hz)
- Se encontró a frecuencias muy altas ( $f_2 = 9,0$  Hz) una serie de daños a lo largo de la pared sin refuerzo, tales como cizalladura por flexión.
- Para estas frecuencias se encontraron aceleraciones pico de 2,4 g. Se conoce como la frecuencia disminuye muy rápidamente durante apertura de grietas estructurales.
- El muro reforzado MAPEWRAP SYSTEM EQ, registró valores de frecuencia mucho más altas, una señal de que la apertura de grietas es aplazado en el tiempo.
- La muestra reforzado con SISTEMA MAPEWRAP EQ es llevado a niveles frecuencia cerca del nivel de resonancia y se derrumba después de cerca de 3.500 ciclos cargar respuesta de amplitud sinusoidal de 3,5 g.
- Una comparación entre la aceleración máxima y la deformación debido al momento de flexión es una tasa mayor que 80% entre el panel y reforzado con el sistema MAPEWRAP EQ” [25].

También es evidente la mejora en la resistencia a cargas de flexión, aplicadas en el plano transversal, según se evidencia en las curvas carga- deformación de la figura 3.2.4-2.

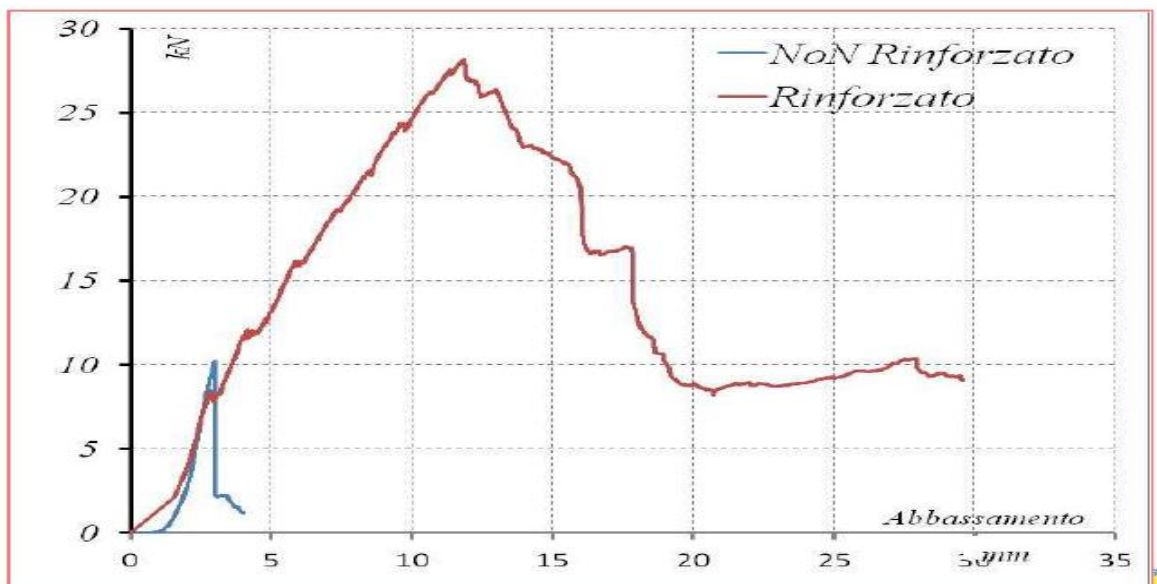


Figura 3.2.4-2 Deformación de un muro no reforzados y de reforzado con el sistema MAPEWRAP EQ., sometidos a cargas de flexión, por cargas transversales al plano del muro. Fuente: MORANDI, G. La Facultad de Ingeniería de la “Università degli Studi di Napoli Federico II. Italia: s.n., 2013.



### 3.3 Reforzamiento con elementos metálicos

Tradicionalmente y de manera intuitiva, se han empleado diversos elementos metálicos en la reparación de muros agrietados, usado en técnicas como el grapado o zunchado. Al incorporar acero a la mampostería se corrige, en buena medida, su incapacidad para disipar la energía a través de formación inelástica, ante cargas horizontales y sísmicas

El acero continúa siendo el material más usado para el refuerzo estructural de edificaciones, por su capacidad de absorber y disipar grandes cantidades de energía, sin cambios físicos apreciables, ni deformaciones; además de su ductilidad, bajo peso, y resistencia a la corrosión. Inclusive puede ser reciclado en nuevas estructuras.

En rehabilitación sísmica, el acero tiene la capacidad de aportar rigidez a otros materiales frágiles, aportando poco peso adicional a la edificación, generando bajas incidencias sobre sus estructuras de cimentación. Las labores de fabricación y montaje son rápidas y es fácil generar uniones, entre elementos del mismo material y a otros de características diferentes, ya sea mediante el uso de soldadura, pernos, remaches, tornillos o adhesivos epóxicos.

La fabricación de la estructura se puede adelantar en talleres especializados, lo cual implica no ocupar otros espacios dentro de la edificación en intervención y la posibilidad de mejores controles de calidad. El ensamble y montaje se hace en el sitio, de manera rápida y limpia. El material permite ajustes, sin intervenciones muy altas. Los cortes se realizan con gran facilidad y la estructura se puede desmontar y reciclar fácilmente. Hay variedad de perfiles comerciales lo cual permite lograr aplicaciones estructurales y riqueza arquitectónica.

A continuación se hace referencia a investigaciones donde se ha experimentado con el uso de elementos metálicos, de acero, para reforzar mamposterías.

### 3.3.1 Cables metálicos

En la 13<sup>va</sup> Conferencia Mundial sobre Ingeniería Sísmica, celebrada en Vancouver, B.C., Canadá, los ingenieros Australianos la S. Chuang, Y. Zhuge y P.C. McBean [26], presentaron un método para modelación de fuerzas sísmicas (elementos finitos no lineal), aplicable al reforzamiento, de estructuras de mampostería con cables de acero.

La validación de los resultados se hizo mediante el ensayo de tres muretes de mampostería simple, reforzados con sistema de dos cables, fijados con placas metálicas en las cuatro esquinas, formado una 'X', según se muestra en la Imagen 3.3.1-1.



Imagen 3.3.1-1 Ensayo del murete. Fuente: CHUANG, S., ZHUGE, Y y MCBEAN, P. *Seismic retrofitting of unreinforced masonry walls by cable system*. Vancouver, B.C., Canadá: s.n., 2004. 13th. Word Conference on Earthquake Engineering. Paper No. 3228.

Cada murete fue sometido a ensayos de desplazamiento horizontal y a carga axial de compresión simultáneamente, para simular cargas de sismo. De esta manera se pudo demostrar que la rigidez de muros reforzados mejoró significativamente, en comparación con el murete no reforzado. Las curvas de fuerza Vs. desplazamiento, de la figura 3.3.1-2 indican que los cables comienzan a resistir carga, desde la fase inicial del ensayo hasta absorber el 50 % de la fuerza aplicada a los muretes, con lo cual se puede deducir que muro y cables actúan conjuntamente. Estos resultados fueron similares a los obtenidos para los muros, con la modelación numérica inicial.

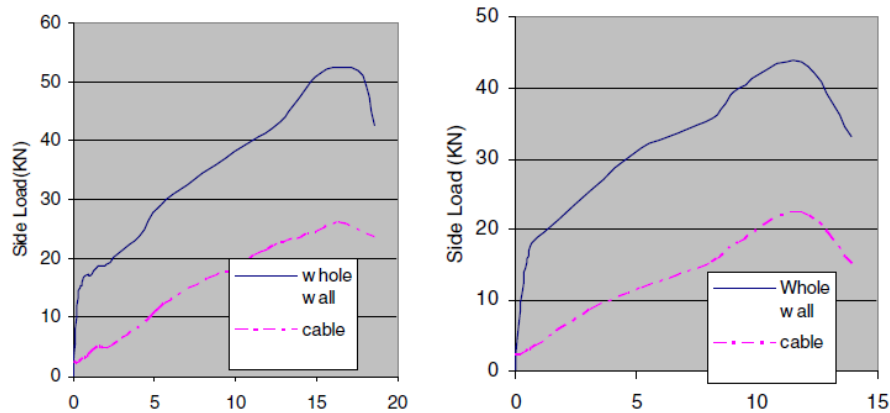


Figura 3.3.1-2. Curvas de carga y deformación de los muretes. Fuente: CHUANG, S., ZHUGE, Y y MCBEAN, P. *Seismic retrofitting of unreinforced masonry walls by cable system*. Vancouver, B.C., Canadá: s.n., 2004. 13th. Word Conference on Earthquake Engineering. Paper No. 3228.

Entre las principales ventajas del reforzamiento con cables, se pueden mencionar: flexibilidad arquitectónica, bajo costo, rápida instalación, durabilidad y que el sistema ocupa poco espacio. Adicionalmente, no se le añade una masa significativa de la edificación existente y no se cambian las propiedades dinámicas de las estructuras, con la instalación de los cables.

Los autores mencionan, entre otras, las siguientes conclusiones:

- *“Los experimentos realizados en este estudio muestran que el sistema de reforzamiento con cable, para muros de mampostería de baja altura, son efectivos, al aumentar significativamente su resistencia en el plano, la ductilidad, y la capacidad de disipación de energía.*
- *El mejoramiento de la resistencia última a carga lateral de los muros reforzados con dos cables es el doble, con relación a la resistencia de la pared sin refuerzo.*
- *Es preferible utilizar el sistema de cables en los dos lados de la pared, para ofrecer una mayor resistencia y minimizar los desplazamientos fuera del plano.*
- *Los resultados obtenidos a partir de estos modelos también muestran buena concordancia con el Modelo experimental de elementos finitos no lineales, desarrollado para predecir la resistencia y la ductilidad de los muros simples y de los muros reforzados con sistema de cable” [27].*

### 3.3.2 Perfiles de acero

Durante la 8ª Conferencia Nacional de Ingeniería Sísmica EE.UU April 18 a 22, 2006, San Francisco, California, USA, los ingenieros, Samaresh Paikara<sup>1</sup> and Durgesh C. Rai, del Indian Institute of Technology Kanpur, presentaron los resultados de la investigación: Confining Masonry Using Pre-Cast RC Element For Enhanced Earthquake Resistance [27]. La técnica se basa en un método tradicional de construcción de mampostería, usado en Cachemira, India, que consiste en la instalación de cordones de madera dentro de los muros. La mampostería confinada en madera se ha comportado eficientemente durante los eventos sísmicos, sufridos en esta región.

El método para reforzamiento consiste en dividir un muro grande en varios muros de áreas pequeñas, confinadas, de tal manera que las juntas y elementos de confinamiento, disipan las tensiones generadas por el terremoto, manteniendo muro estable.

Con el estudio experimental se buscó la mejora en la resistencia lateral en el plano de los muros de mampostería, utilizando elementos de confinamiento en red. Los investigadores hicieron la modelación de fuerzas sísmicas con un programa de elementos finitos no lineal y validaron los resultados, mediante ensayos de muretes de prueba, de dimensiones: 2,5 m. x 1,5 m., construidos con ladrillos a escala y canales metálicas de confinamiento, de 3 mm, aseguradas con tornillos de 6 mm de diámetro a través de los agujeros. Se usaron dos configuraciones de confinamiento según se muestra en la figura 3.3.2-1.

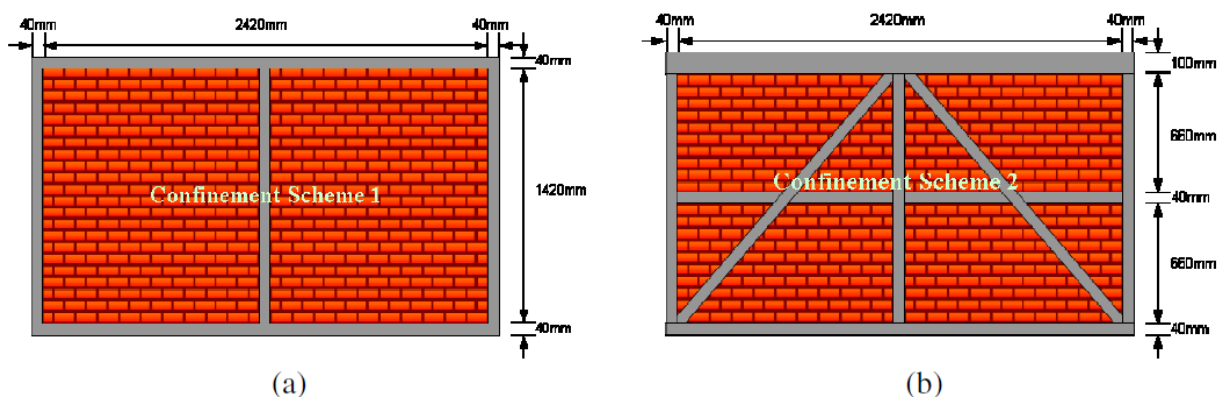


Figura 3.3.2-1. Distribución de las platinas de confinamiento en los dos muretes de prueba. Fuente: PAIKARA, S y RAI, D. *Confining Masonry Using Pre-Cast Rc Element For Enhanced Earthquake Resistance*. San Francisco, California: s.n., 2006. Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering. Paper No. 1177.

Los especímenes, o muretes de prueba, fueron anclados a una viga de concreto, de piso y sometidos a ensayos cíclicos lentos y a una carga vertical constante para simular las cargas de los pisos superiores y desplazamientos laterales.

Durante el ensayo se pudo observar la respuesta de histéresis de los muretes, individualmente y de los paneles en su conjunto. Con cada aumento de ciclo de los desplazamientos, se pudo observar como la rigidez lateral iba en declive continuo. El diagrama carga-deformación, de la figura 3.3.2-2, evidencia que el espécimen 2 (b) presentó una mayor capacidad de resistencia y de deformación, que el primero (a). La disposición y espaciamiento de los elementos metálicos, de confinamiento, influyen en el comportamiento del sistema en su conjunto

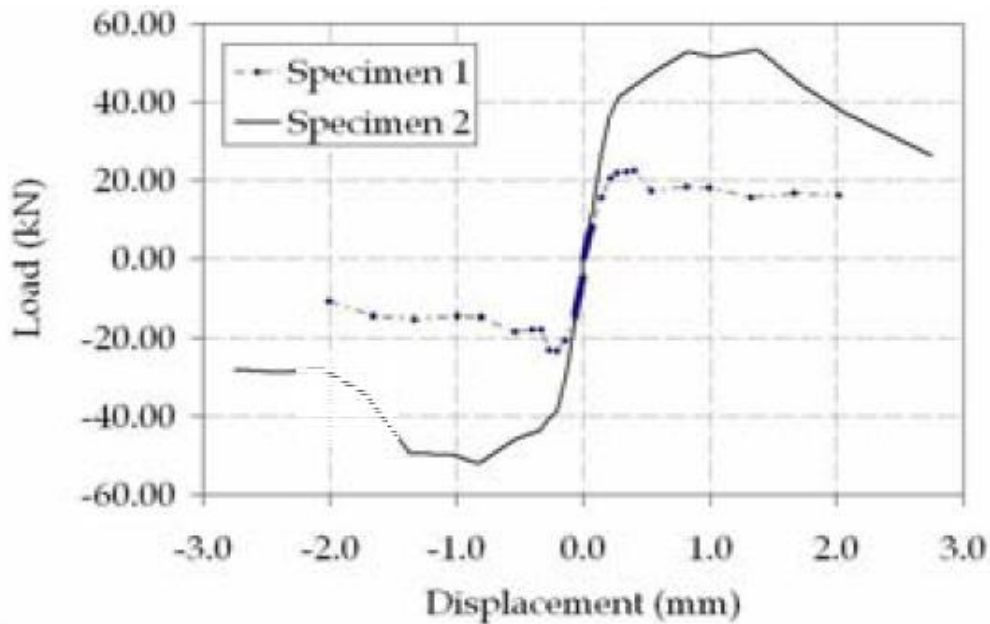


Figura 3.3.2-2. Curvas de carga – deformación de los muretes a y b. Fuente: PAIKARA, S y RAI, D. *Confining Masonry Using Pre-Cast Rc Element For Enhanced Earthquake Resistance*. San Francisco, California: s.n., 2006. Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering. Paper No. 1177.

Las imágenes 3.3.2-1 y 3.3.2-2., evidencian que el espécimen 2 (b) presentó menor daño, fisuración y deformación, que el primero (a), luego de ser sometidos a los ensayos de prueba.



Imagen 3.3.2-1. Estado de murete de prueba (a), luego de los ensayos cíclicos; Imagen 3.3.2-2. Estado de murete de prueba (b), luego de los ensayos cíclicos. Fuente: PAIKARA, S y RAI, D. *Confining Masonry Using Pre-Cast Rc Element For Enhanced Earthquake Resistance*. San Francisco, California: s.n., 2006. Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering. Paper No. 1177.

Los autores mencionan, entre otras, las siguientes conclusiones:

- *“Investigaciones experimentales indican claramente que seccionando el muro en paneles más pequeños con el uso de elementos de confinamiento, se pueden mejorar su capacidad de deformabilidad y disipación de energía.*
- *La colocación y el espaciamiento de los perfiles metálicos influyen en gran medida el comportamiento del sistema en su conjunto.*
- *Con la Introducción de perfiles de confinamiento, en el plano diagonal de deslizamiento, se mejora el comportamiento lateral de mampostería confinada por deslizamiento a lo largo de ese plano y sin aumento significativo de la rigidez.*
- *Se observan cifras ajustadas, entre los resultados experimentales observados y los resultados analíticos estimados antes de la aparición del agrietamiento principal en la muestra. El comportamiento de deformación de carga se rige por la apertura y el cierre de las grietas.*
- *El enfoque de medición de grietas es más adecuado para predecir el comportamiento de la mampostería, cuando su modo de fallo es de agrietamiento por cizalla diagonal. La predicción de resultados, es algo más pobre cuando la deformación de carga está dominado por deslizamiento a lo largo juntas horizontales como se observa en la pieza 2, incluso a niveles bajos de desplazamiento” [28].*

### 3.3.3 Grapas de acero y mallas electro-soldadas

El grapado de muros se ha usado en la reparación de muros agrietados o averiados por sismo. La técnica consiste "coser" el muro, mediante la instalación de grapas de acero, dispuestas perpendicularmente a lo largo de la grieta, a reparar; de tal manera que los ganchos y la grapa misma queden instalados dentro de orificios y regatas previamente hechos. La fijación de la grapa se hace con mortero de cemento y arena fina.

Un grupo Ingenieros de la Universidad de la Serena, de Chile, adelantó la investigación denominada "*Ensayos De Muros De Albañilería Armada Dañados y Reparados Sometidos A Carga Horizontal Dinámica*" [28], en la cual adelantaron ensayos dinámicos en muros de mampostería reforzada con acero, a escala real, dañados y reparados, posteriormente. Los cuatro muros de prueba, de 2.52 m. de altura, 1.67 de longitud y 14 cm. de espesor, se llevaron al colapso, previamente, mediante aplicación de carga horizontal cíclica hasta su total pérdida de rigidez. Posteriormente, se repararon dos de ellos, mediante la técnica de engrapado de las grietas y los otros dos fueron reforzados con doble malla de acero y pañete de mortero proyectado (shotcrete), y fueron sometidos nuevamente a ensayos mediante aplicación de carga horizontal cíclica hasta su colapso. Se hizo un comparativo de los ciclos de histéresis obtenidos, con los de los muros originales.

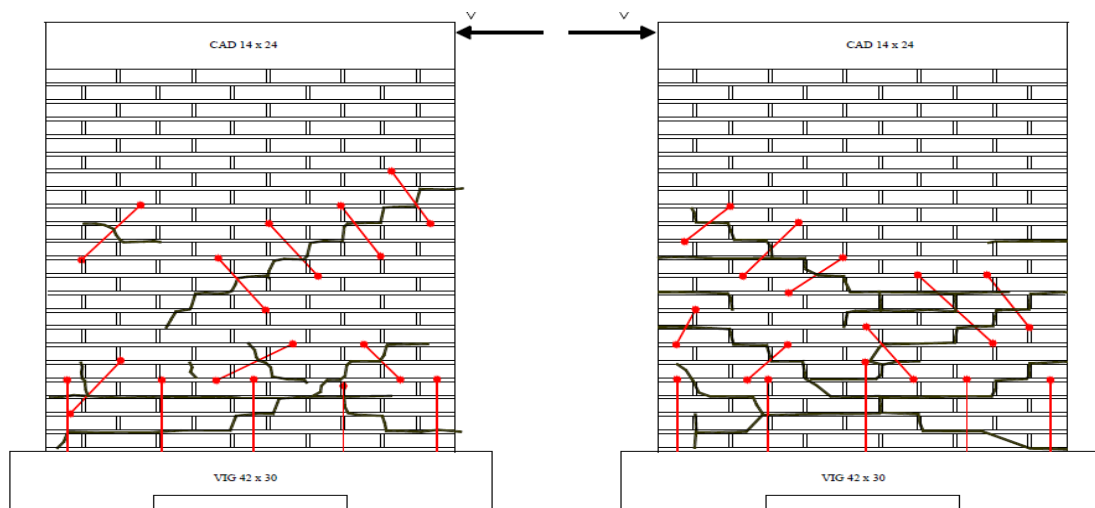


Figura 3.3.3-1 Esquema de la instalación de grapas, en el muro 2. Fuente: CAMPBELL, J, y OTROS. A16-01 *Ensayos de muros de albañilería armada dañados y Reparados sometidos a carga horizontal dinámica.*

Concepción: Universidad de Concepción, Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica, 2005.

Congreso Chileno de Sismología de Ingeniería Antisísmica. IX Jornadas. Disponible en web:

<http://es.scribd.com/doc/55545307/Albaileria-Ensayo-de-Muros>.



En la Tabla 3.3.1 se presenta una comparación de los resultados. Los autores aclaran que la rigidez elástica se calculó como un promedio de la rigidez inicial para desplazamientos positivos y negativos. Para el Muro N°2 reparado se observa que su rigidez elástica es muy inferior al caso original. Sin embargo, se debe considerar que la rigidez de dicho muro colapsado antes de su reparación era prácticamente nula.

Para los Muros N°3 y N°4 se observa claramente un aumento de su rigidez inicial, lo que se evidencia la efectividad del reforzamiento.

Muro	Situación Original			Situación Reparado		
	$K_{\text{elastico}}$ (Ton/mm)	$P_{\text{max}}$ (+) (Ton)	$P_{\text{max}}$ (-) (Ton)	$K_{\text{elastico}}$ (Ton/mm)	$P_{\text{max}}$ (+) (Ton)	$P_{\text{max}}$ (-) (Ton)
2	1,927	6,500	5,854	0,973	2,797	5,392
3	1,936	6,440	6,434	2,454	8,001	7,923
4	1,906	6,608	6,401	2,939	11,397	9,829

Tabla 3.3.1: Comparación de resultados. Fuente: CAMPBELL, J, y OTROS. *A16-01 Ensayos de muros de albañilería armada dañados y Reparados sometidos a carga horizontal dinámica*. Concepción: Universidad de Concepción, Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica, 2005. Congreso Chileno de Sismología de Ingeniería Antisísmica. IX Jornadas. Disponible en web: <http://es.scribd.com/doc/55545307/Albaileria-Ensayo-de-Muros>.

Se extractan de las conclusiones dadas por los autores de la investigación, las siguientes:

- *“De acuerdo al análisis comparativo realizado por medio de las curvas carga-desplazamiento en cada uno de los muros, se puede observar que para el tipo de falla en que incurren, el método de reparación o reforzamiento más eficiente que en definitiva cumple con los requerimientos de trabajo es el reforzamiento con doble malla de acero. Con este método fue posible aumentar en forma considerable la resistencia del muro dañado e incluso mejorarla con respecto al muro original.*
- *La reparación con corchetes (grapas) es más imprecisa pues se realiza sólo mediante análisis visual del muro por parte del profesional para determinar las grietas principales y es él quien determina la ubicación de las grapas. No es posible reparar toda la amplitud de las grietas, sino más bien sólo se realiza la reparación de las grietas principales.*
- *Se observa entonces que el refuerzo con doble malla de acero y shotcrete resultó alrededor de un 77% más cara que la reparación con grapas.*



- *Para todos los ensayos realizados, tanto en los muros originales como reparados, se observó una falla por flexión y corte con deslizamiento en la base del muro (unión con la viga de fundación), por lo cual se observó la importancia de la reparación de esa zona. En el caso de las grapas, varias de ellas debieron anclarse a la viga de fundación. En el caso del refuerzo con doble malla, se observó la importancia de colocar un número de anclajes suficientes entre la doble malla y la viga de fundación (ver diferencia entre muro reparado 3 y 4). En definitiva la falla de dichos anclajes determinó la falla de los muros reparados” [29].*

### 3.3.4 Arrostramiento externo con perfiles de acero

Se tiene conocimiento de edificaciones, cuya estructura original se construyó con muros de mampostería simple, que fueron reforzadas con marcos metálicos arriostrados con perfiles en diagonal. El sistema metálico de refuerzo, instalado al exterior del edificio, se ha comportado eficientemente durante los sismos y ha permitido la reducción de los daños en la mampostería. Este es el caso del reforzamiento estructural de la bodega central del Laboratorio Lawrence Berkeley, ilustrado en la imagen 3.3.4-1. Esta edificación está ubicada en Berkeley, California, USA.

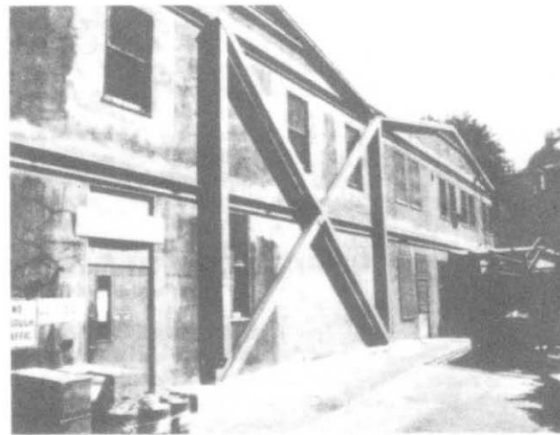


Imagen 3.3.4-1. Reforzamiento con marcos arriostrados de acero y perfiles diagonales. Fuente: FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY - FEMA. *Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*. U.S.A.: El Autor, 1992.

En México, el ingeniero Jorge Alberto Rendón Ospina, adelantó la investigación, denominada “*Técnicas de Control Pasivo, Estado del Arte En Rehabilitación Sísmica*.”

*Presentación*". [29], mediante la cual se pudo demostrar que la estructura arriostrada reduce las derivas, toma las fuerzas laterales, aumentado significativamente, la resistencia lateral y la capacidad de deformación del sistema estructural, con lo cual se alivian las cargas horizontales a las mamposterías, añadiéndole peso mínimo, adicional a la edificación.



Imagen 3.3.4-2. Reforzamiento con marcos arriostrados de acero; Imagen 3.3.4-3. Detalle del reforzamiento con marcos arriostrados de acero. Fuente: RENDÓN, J. Técnicas del control pasivo: Estado del arte en rehabilitación sísmica [Presentación de diapositivas].

Si bien es cierto el sistema de marcos y riostras de acero resulta útil para reforzar Edificios de madera o mampostería no reforzada, los cuales presenta debilidades frente a los esfuerzo de corte, puede interferir con ventanas, desmejorando las condiciones ambientales de los espacios interiores y obstruir puertas o salidas. También se afecta e aspecto estético de las fachadas.

Al acero hay que acondicionarle tratamientos de pintura para evitar su oxidación, por su exposición al medio ambiente. No obstante, durante su vida útil hay que hacer un cuidadoso y permanente mantenimiento.

### 3.4 Reforzamiento con el uso de concreto reforzado

Con objeto de mejorar el comportamiento estructural de edificaciones, cuya estructura fue construida a partir de muros de mampostería, estas se pueden confinar dentro de marcos construidos con concreto reforzado, para que estos asuman las eventuales cargas laterales y de sismo. Otra técnica consiste en el recalce de antiguos muros de mampostería, con concreto reforzado, para crear una nueva estructura adosada al interior de la envolvente de la edificación. Esta técnica se suele usar cuando es importante la conservación de las características arquitectónicas de las fachadas, por ejemplo, en edificaciones declaradas como monumento histórico.

En el documento “*Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings FEMA 172*” [31] se describen varias técnicas de reforzamiento de muros de mampostería u hormigón, consistentes en:

- *“El aumento de la eficacia de las paredes existentes mediante el relleno de aberturas de puerta o ventana con hormigón reforzado o mampostería*
- *Recalce de las paredes existentes, con recubrimiento de hormigón - armado anclado en el interior o en la cara exterior de los muros existentes - vertido en el sitio o aplicado neumáticamente (es decir, concreto proyectado )*
- *Proporcionar elementos de resistencia vertical suplementarios (es decir, muros de corte, refuerzos o contrafuertes exteriores) para la reducción de las tensiones de corte o la flexión de las paredes existentes” [30].*

En la implementación de cualquiera de las técnicas descritas, es fundamental asegurar el comportamiento estructural monolítico entre los muros antiguos y los elementos de concreto reforzado. Esto se logra con el uso de anclajes de conexión, entre elementos de acero al concreto y/o la mampostería existente. Las dos técnicas más usadas comúnmente son: anclajes mecánicos o anclaje de barras de acero mediante adhesivos epóxicos. La elección del tipo de anclaje, dependerá de los materiales a vincular. En cualquier caso se deben seguir estrictamente las recomendaciones y procedimientos de instalación, especificados por los fabricantes de los productos de anclaje. Se recomienda adelantar pruebas de extracción de anclajes, para verificar que estos brinden la resistencia especificada.

### 3.4.1 Confinamiento de muros con columnas y vigas

La mampostería confinada, por elementos de concreto armado, fue creada por ingenieros italianos, después que el sismo ocurrido en 1908 en Messina, Sicilia, que arrasó con las edificaciones de mampostería no reforzada. En nuestro país, está reglamentado el diseño y construcción de mampostería de muros confinados en el capítulo D-10 del Reglamento NSR-10. El cual está clasificado dentro de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (*DMO*). Su definición está indicada en el numeral **D.10.1.1 — CLASIFICACIÓN** — *“Se clasifica como mampostería confinada aquella que se construye utilizando muros de mampostería rodeados con elementos de concreto reforzado, vaciados posteriormente a la ejecución del muro y que actúan monolíticamente con éste” [2]*

Una investigación adelantada por entidades del Japón: la Universidad de Mie, el Instituto de Investigación de Ciencias de la Tierra y Prevención de Desastres, el Instituto de Investigación de la Vivienda y la empresa privada Tokio Soil Research, en colaboración con la Universidad Católica del Perú [31], han demostrado que el confinamiento de la mampostería constituye un sistema constructivo y de reforzamiento apto para regiones sísmicas, incluso en los casos en los cuales se han construido con materiales de poca resistencia, con deficiencias en el proceso y en condiciones informales.

Se construyeron y ensayaron tres módulos, conformados por 4 muros de arcilla en aparejo de soga, de 3x3 m y 0.11 m de espesor, dos de ellos con vano de ventana y un muro con vano de puerta, cimentados sobre vigas de cimentación de concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . Para las columnas preparó y vació concreto de  $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ , el mortero de los muros y el concreto de las columnas, se encofraron y armaron las vigas, para finalmente vaciarlas, con concreto de  $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ .

En el módulo B, además de seguir el procedimiento básico, se colocaron varillas de acero con diámetro de 8mm, cada 6 hiladas, que penetraron una longitud de 0.5 m en la hilada de mortero hasta las columnas, con gancho de 0.1 m. Además, se incorporó un dintel alrededor del módulo, formando un anillo, según se muestra en la imagen 3.4.1-1. El módulo C, adicionalmente, fue reforzado con una malla de acero galvanizada de 1 mm con separación de  $\frac{3}{4}$ ", clavada sobre los muros y atornillada a los elementos de concreto armado, finalmente se recubrió con pañete con un mortero cemento: arena 1:4.



Imagen 3.4.1-1. Detalle del armado del acero de refuerzo; Imagen 3.4.1-2. Vista general del módulo B. Fuente: PÉREZ, J., ENCISO, J y QUIUN, D. Ensayos de Simulación Sísmica de Modelos de Albañilería Confinada. Pontificia Universidad Católica del Perú. [En línea] 2009. Disponible en web: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20091111-PEREZ-ENCISO-QUIUN-Ensayos%20alba%20conf.pdf>>.

Los módulos fueron sometidos a ensayos de simulación sísmica en la mesa vibradora del Laboratorio de Estructuras de la PUCP. El movimiento fue unidireccional, en la dirección de los muros con ventana. El módulo A fue sometido a 6 fases, mientras que los módulos B y C fueron sometidos a 4 fases. Antes de cada fase se ejecutaron ensayos de vibración libre. Se utilizaron las señales derivadas de los registros sísmicos de ICA2 (2007), KOBE (1995), y MAYO70 (1970). Se fue variando la escala de tiempo y la amplitud de los movimientos para producir movimientos de intensidad creciente. Los autores describieron lo acontecido durante los ensayos, así: *“Se pudo observar que durante las tres primeras fases no se produjo ninguna fisura. En la fase 4 aparecieron las primeras fisuras diagonales iniciadas en las esquinas del vano, además que en el muro E se comenzó a agrietar en las uniones muro con columna. En la fase 5 aparecieron pequeñas grietas (señal relativamente débil). En la fase 6 aparecieron nuevas grietas diagonales, además en el Muro E en la esquina inferior se desprendió pedazos de ladrillo”* [30]. Según se diagrama en las Figuras 3.4.1-1.

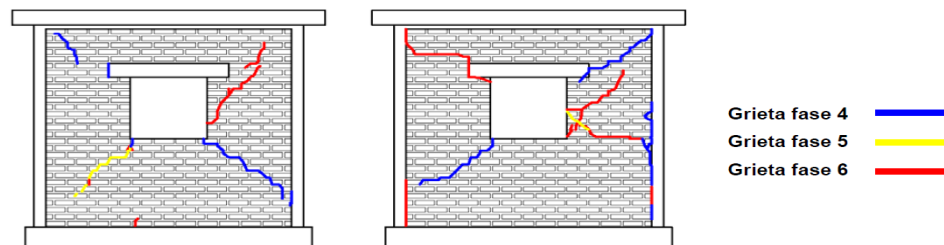


Figura 3.4.1-1 Esquema de los agrietamientos de los muros W - E Fuente: PÉREZ, J., ENCISO, J y QUIUN, D. Ensayos de Simulación Sísmica de Modelos de Albañilería Confinada. Pontificia Universidad Católica del Perú. [En línea] 2009. Disponible en web: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20091111-PEREZ-ENCISO-QUIUN-Ensayos%20alba%20conf.pdf>>.

Las conclusiones dadas por los autores del estudio, fueron: “Se demostró que la albañilería confinada puede constituir un sistema constructivo apto para regiones sísmicas, incluso con materiales de poca resistencia y defectos constructivos. Las mejoras introducidas en los módulos B y C incrementaron la capacidad de la estructura y son sencillas de implementar. Los resultados que se piensa aplicar en países como Indonesia son útiles para la realidad peruana donde se construye en condiciones informales” [32].

Con ocasión de la investigación denominada “Arriostramiento de Parapetos Existentes Hechos de Albañilería Simple” [33], adelantada en la Universidad Católica del Perú, se construyeron cuatro muretes y se sometieron a ensayos de simulación sísmica, según se puede observar en la imagen 3.4.1-3., cada uno con longitud de 1.2m y altura 1.0m y 12cm de espesor. Tres de los muretes fueron arriostrados con columnas de 12x12cm, ubicadas en sus bordes, con distinta disposición y forma de anclaje y de refuerzo vertical. Los materiales fueron de características y resistencias similares a los empleados en nuestro medio Colombiano. Para simular el reforzamiento de un antepecho real, fue construido el murete, dejando dentados en sus extremos, para después instalar el refuerzo vertical y vaciar el concreto de las columnas. Los autores del estudio señalan que *En un caso real habría que picar la albañilería en forma dentada en la zona donde irán las columnas.* [32]



Imagen 3.4.1-3. Muretes estudiados sobre vigas de concreto. Imagen 3.4.1-4. Muretes estudiados

Fuente: SAN BARTOLOMÉ, A., SIANCAS, R y MANRIQUE, A. Arriostramiento de Parapetos Existentes Hechos de Albañilería Simple. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. [En línea] 2013. Disponible en web: <[http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20130629-arriostramiento\\_de\\_parapetos\\_articulo.pdf](http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20130629-arriostramiento_de_parapetos_articulo.pdf)>.

El murete denominado - **M2**, fue el patrón de comparación ya que representa a los antepechos que carecen de confinamiento (mampostería simple). Los otros muretes de prueba fueron reforzados de la siguiente manera:

- El murete - **M1** fue confinado con dos columnas en sus extremos, reforzadas con una varilla de 8mm de diámetro colocada en el centro de la columna y anclada químicamente con epóxico en una perforación hecha en la cimentación, de 1cm de diámetro y una profundidad de 15cm.
- El murete - **M3** fue confinado con dos columnas en sus extremos, reforzadas con dos varillas de ¼” de diámetro colocadas en el centro de la columna en la dirección del lado más débil. Estas varillas fueron amarradas con estribos de ¼” con ganchos a 180° y anclaron químicamente con epóxico, en un hueco hecho en la cimentación, de 5x10cm y 10cm de profundidad.
- El murete - **M4** fue muy parecido a M3, excepto en el anclaje del refuerzo vertical. En este caso, las dos varillas de ¼” de diámetro anclaron químicamente con epóxico, en 2 perforaciones hechas en la cimentación, de 1cm de diámetro y 15cm de profundidad. Se usó epóxico Euco 452 Gel para anclar químicamente las varillas de refuerzo vertical de las columnas en el anillo de cimentación. Este epóxico es un adhesivo para elementos endurecidos y de distinta calidad.

Los 4 muretes fueron sometidos en simultáneo a la componente “L” del terremoto ocurrido el 31 de mayo de 1970 en Chimbote. Esta señal tiene 30 segundos de duración y un contenido de frecuencias predominantes comprendida entre 2.5 y 3.5 Hz. Se aplicaron 3 fases de aceleración ( $A_0$ ) creciente, tratando de simular sismos leves, moderados y severos. En la fase 1 los muretes confinados (M1, M3 y M4) tienen prácticamente la misma respuesta, mientras que en M2 el desplazamiento creció fuertemente para después volcarse. En la fase 2, los muretes M1 y M3 respondieron de manera similar, mientras que en M4 se inició la falla en su base incrementándose fuertemente el desplazamiento. La figura 3.4.1-2 grafica la envolvente de carga máxima frente a la aceleración en la base  $A_0$ .

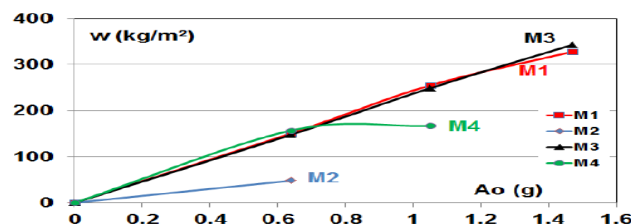


Figura 3.4.1-2. Envolvente de carga máxima frente a la aceleración en la base  $A_0$ .

Fuente: SAN BARTOLOMÉ, A., SIANCAS, R y MANRIQUE, A. Arriostramiento de Parapetos Existentes Hechos de Albañilería Simple. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. [En línea] 2013. Disponible en web: <[http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20130629-arriostramiento\\_de\\_parapetos\\_articulo.pdf](http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20130629-arriostramiento_de_parapetos_articulo.pdf)>.



Los muretes M1 y M3 pudieron soportar el ensayo sísmico sin colapsar, por lo que fueron sometidos a un ensayo estático, consistente en aplicar una carga concentrada (F) en el borde superior, con gato hidráulico medida con una celda de carga, mientras que el desplazamiento lateral (D) del punto central superior fue registrado con un LVDT. Los dos muretes fallaron volcándose por flexión a través de su base, observándose una falla por anclaje del refuerzo vertical en ambos casos. En la Tabla 3.4.1. Aparecen los valores máximos de las cargas “w”.

Parapeto	M1	M2	M3	M4
Teoría (fluencia)	387	No reforzado	390	390
Teoría (endurecimiento)	581	No reforzado	585	585
Ensayo sísmico	328 (Fase 3)	48 (Fase 1)	343 (Fase 3)	167 (Fase 2)
Ensayo estático	864	---	387	---

Tabla 3.4.1. Resistencias máximas “w. en kg/cm<sup>2</sup>. Fuente: SAN BARTOLOMÉ, A., SIANCAS, R y MANRIQUE, A. Arriostramiento de Parapetos Existentes Hechos de Albañilería Simple. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. [En línea] 2013. Disponible en web: <[http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20130629-arriostramiento\\_de\\_parapetos\\_articulo.pdf](http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20130629-arriostramiento_de_parapetos_articulo.pdf)>.

A partir de los resultados consignados en la Tabla 3.4.1, los autores del estudio extractan las siguientes conclusiones y comentarios:

- *“La resistencia sísmica de los parapetos de albañilería simple (M2) es mínima e inferior a la carga reglamentaria de diseño, por tanto, es necesario arriostarlos para prevenir su colapso.*
- *M3 y M4 tuvieron el mismo refuerzo vertical, sin embargo, M4 falló antes por anclaje, aunque para una carga mayor que la de diseño reglamentario. M3 falló también por anclaje, pero para una carga 2.3 veces mayor que la de M4, sin alcanzar la resistencia a la fluencia.*
- *Los arriostres en base a columnas de concreto con refuerzo vertical anclado químicamente mediante resina epóxica, fueron fáciles de construir, y el utilizado en el parapeto M1 (una sola varilla anclada en una perforación) fue el más sencillo y el que proporcionó la mayor resistencia a carga sísmica perpendicular al plano del parapeto.*
- *Todos los parapetos arriostrados fallaron por anclaje del refuerzo vertical, con una resistencia mayor a la carga reglamentaria de diseño, pero menor al valor teórico de fluencia, excepto en M1, donde la resistencia sobrepasó incluso a la de endurecimiento del refuerzo, lo cual amerita un nuevo ensayo, considerando dos situaciones: con anclaje químico y con anclaje natural” [33].*



### 3.4.2 Recalce de mampostería con concreto reforzado

En el documento “*Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings FEMA 172*” [31], se reconoce la efectividad de la técnica de reforzamiento estructural, mediante recubrimiento con concreto reforzado con malla electro soldada, para corregir las deficiencias de elementos de mampostería, para soportar esfuerzos de corte, flexión y cizallamiento. La técnica consiste en proporcionar grosor adicional a las paredes existentes con una capa de hormigón armado anclado a alguno de sus lados. El hormigón puede ser vertido en el sitio o aplicado neumáticamente (es decir hormigón proyectado) La conexión correcta, entre ambos materiales, mejora la capacidad resistente del nuevo muro compuesto.

Según este documento, la técnica es aplicable a paredes de mampostería, incluidas las construidas con ladrillo de arcilla o de hormigón, sólido o hueco; tejas de arcilla, baldosa hueca y Hormigón en masa, aunque no se clasifica como mampostería, puede ser reforzada por técnicas similares a las descritas a continuación.

El primer paso consiste, en la instalación y anclaje de la armadura de acero de refuerzo sobre una cara de la pared, bien sea en su cara interna o externa, según muestra la figura 3.4.2-1.

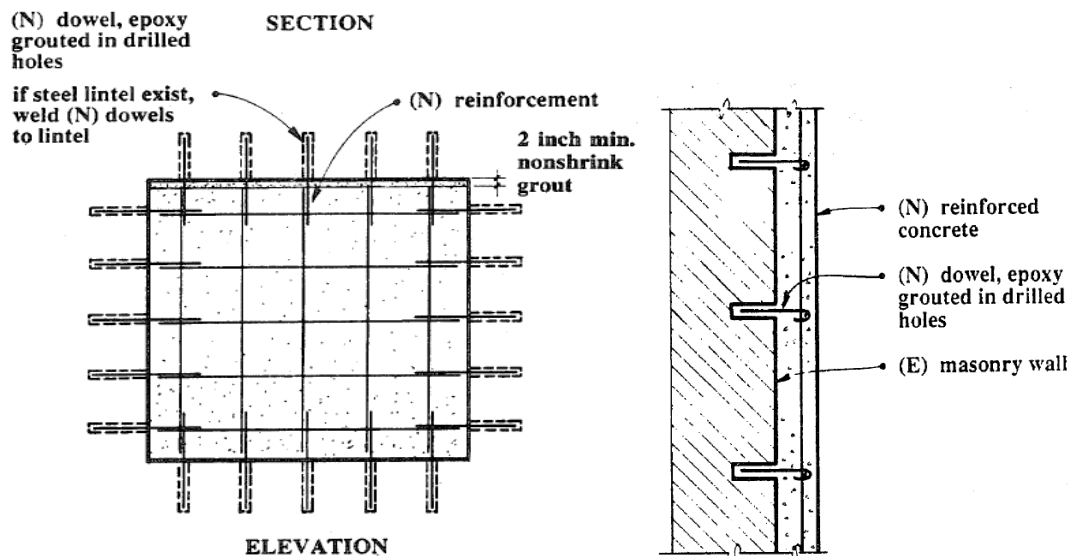


Figura 3.4.2-1. Detalle en alzado y corte del reforzamiento de un muro existente, mediante recalce con concreto reforzado. Fuente: FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY - FEMA. *Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*. U.S.A.: El Autor, 1992.

Se instalan anclajes de acero en el perímetro de los muros y a la estructura de concreto, mediante perforaciones con taladro y aplicación de adhesivo epóxico, entre ambos materiales.

Para asegurar el comportamiento estructural monolítico de los muros antiguos y los elementos de concreto reforzado. Se deberá usar adhesivo epóxico para varilla corrugada, que cumpla con el Reglamento ASTM C-881-02 tipo IV grado 3. Se deberán seguir estrictamente las recomendaciones y procedimientos de instalación, especificados por el fabricante, en cuanto a diámetro y longitud de la perforación, condiciones de limpieza, cantidad y tiempo de fraguado del epóxico. Se deben hacer pruebas de extracción para corroborar que los aceros anclados brinden la resistencia mínima especificada por el calculista.

Se resumen algunas conclusiones y recomendaciones, contenidas en el FEMA 172[29]:

- *“Establecer la resistencia a la rotura de la mampostería, a partir de las pruebas básicas o pruebas in-situ.*
- *Se recomienda utilizar un factor de seguridad muy alto, en el cálculo del esfuerzo cortante permisible, debido a la variación potencial en mano de obra y materiales, particularmente en las juntas de mampostería. Algunos ingenieros estructurales prefieren ignorar la participación de la mampostería existente y calculan el recubrimiento de hormigón, para que resista el total de corte en el plano*
- *Es difícil mantener la compatibilidad de las deformaciones entre fisurado mampostería original y el recalce de concreto.*
- *La redistribución de las fuerzas sísmicas, a partir de los muros reforzados es más eficaz cuando las paredes están en la misma línea de la fuerza y están interconectadas*
- *Dado que los nuevos muros de hormigón armado se pueden desprender del sustrato de mampostería, deben tener una relación de altura – espesor adecuada*
- *Los edificios de mampostería no reforzada, a menudo carecen de anclaje de pared adecuado al diafragma. Para corregir esta deficiencia, y la capacidad insuficiente, de corte en el plano, se recomienda colocar el recubrimiento de hormigón en la cara interior de las paredes exteriores” (según muestra la figura 3.4.2-1) [31].*

## 3.5 Reparación de grietas

El agrietamiento es la manifestación visible de daño en un muro de mampostería, y nos da cuenta de las debilidades de los materiales y el sobre-esfuerzo que lo causó. Las grietas de mayor tamaño se pueden corregir con rellenos, mediante inyección de resinas epóxicas, morteros epóxicos o morteros fluidos de cemento; mientras que los agrietamientos generalizados, se pueden tratar con las técnicas de Grapas de acero y mallas electro-soldadas, que se describen en el numeral 3.3.3., de la presente investigación. La inyección de grietas representa una técnica viable para mantener la funcionalidad del edificio, incrementar su seguridad y durabilidad, pero sin alterar su estética, La técnica es aplicable en muros con bajo número de grietas, que estén bien definidas. Estas se pueden rellenar con materiales similares o diferentes de la mampostería original.

Con el propósito de mostrar un panorama amplio, en cuanto a posibilidades de reforzamiento y de rehabilitación, en este sub-capítulo, *3.5 Reparación de grietas*, se presentan estrategias de rehabilitación que se han aplicado exitosamente a estructuras de mampostería, de carácter patrimonial, en Italia y Estados Unidos.

### 3.5.1 Inyección de mortero fluido de cemento (Grouting)

Esta técnica de reforzamiento fue investigada por el profesor Schuller, de la Universidad de Colorado, en colaboración con Atkinson\_Noland Associates Inc. [33] En la cual adelantaron ensayos dinámicos en muros de mampostería simple, dañados y reparados, posteriormente. Los muros de prueba, de 1.50 m. de altura, 1.80 de longitud, se llevaron al colapso previamente, mediante aplicación de carga horizontal cíclica hasta su pérdida de rigidez. Las grietas se inyectaron mortero fluido de cemento y se probaron 30 mezclas de mortero - Grouting, para determinar cuál de ellas tuvo mejor comportamiento en la reparación mampostería agrietada, mediante nuevos ensayos de carga horizontal cíclica, practicados 28 días después de ser reparados. Los resultados fueron publicados y presentados en la ponencia "*Repair of Unreinforced Masonry Structures with Grout Injection Techniques, Proceedings*" [34] con ocasión de Séptima Conferencia de la North American, University of Notre Dame, en Junio de 1996.

El diseño de mezclas se hizo a partir de normas técnicas americanas ASTM C940-87 ASTM C1072. Se usaron: cemento portland tipo I, agregados finos, aditivos super-

fluidizantes, aditivos estabilizadores de volumen y humo de sílice para mejorar la eficiencia de los aditivos, en adherencia y disminución de la contracción plástica. Los investigadores valoraron la capacidad para llenar los agrietamientos, adherencia, estabilidad e incremento de la resistencia a la tensión e involucraron el estudio de dos casos – La Escuela Primaria en Minland Texas y el Edificio de la Rectoría de la Iglesia de Santa Isabel, en Baltimore - en donde aplicaron, las mezclas de morteros desarrollados, durante la investigación.



Imagen 3.5.1-1. Reforzamiento con inyección de mortero en la Escuela Primaria en Minland Texas.

Fuente: SCHULLER, M y ATKINSON, R. Injection grouting for repair of masonry: Research to practices. [En línea] 1995. Disponible en web: <<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784400944.ch30>>.

Las lechadas o morteros fluidos de cemento deben ser inyectables, estables, resistentes y contener partículas pequeñas (y). La primera característica se refiere a la facilidad para fluir a través de grietas y vacíos, mientras que la segunda se refiere a que tenga baja segregación, sangrado controlado y una reducida contracción plástica. La capacidad resistente se refiere a sus resistencias a compresión, tensión y adherencia con las piezas de mampostería. Los autores indican: “*Los muros que han sido reparados mediante inyección de morteros de cemento han recuperado, e incluso mejorado, su resistencia (80 a 120 por ciento de recuperación), rigidez (50 a 100 por ciento) y capacidad de deformación (80 a 90 por ciento) con respecto a las propiedades originales*” [35].

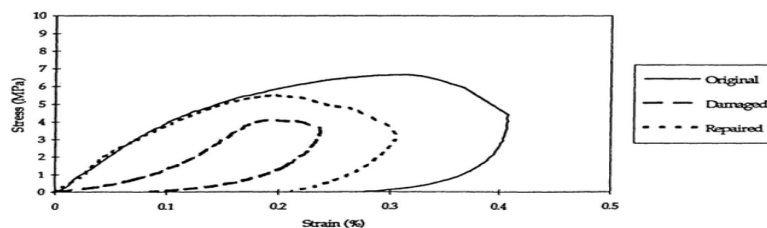


Figura 3.5.1-1 Comportamiento del muro reforzamiento con inyección de mortero. Fuente: SCHULLER, M y ATKINSON, R. Injection grouting for repair of masonry: Research to practices. [En línea] 1995. Disponible en web: <<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784400944.ch30>>.

Adicionalmente, formulan las siguientes recomendaciones, para optimizar los resultados:

- *“Si las lechadas se diseñan adecuadamente, se pueden inyectar grietas con anchuras de 0.08 mm hasta 12 mm*
- *mantener la relación agua/cementantes entre 0,75 y 1,0 para dosificar el superfluidizante en 2 por ciento del peso de materiales cementantes.*
- *Si se usa cemento portland tipo III y humo de sílice se obtienen resistencias superiores a tensión y adherencia, así como lechadas más estables.*
- *El humo de sílice tiene la ventaja adicional de retener agua y de reducir la tendencia de la lechada de endurecerse prematuramente mientras fluye por aberturas pequeñas.*
- *Se ha observado que la cal, la ceniza volante y el mortero para albañilería no mejoran las características de la lechada de modo importante; por lo que su uso no es recomendable.*
- *Los barrenos deben tener diámetros entre 6 y 12 mm, y una profundidad de 50 mm. Se recomienda usar sellador de silicón para fijar y sellar las boquillas al muro. Si las grietas son de mayor anchura, se pueden usar boquillas de superficie*
- *Las boquillas deben estar separadas entre 70 y 300 mm; su separación dependerá de la anchura y rugosidad de la grieta. Si la anchura de las grietas es menor que 1 mm, se recomienda colocar las boquillas dentro de los barrenos y separarlas entre sí 70 mm.*
- *Si el agrietamiento es por corte, es decir, sigue las juntas de mortero, se recomienda colocar boquillas a la mitad de la altura de las juntas verticales, ya que es menos probable ahí la presencia de finos o partículas que bloqueen el flujo de la lechada*
- *Se debe limpiar la grieta y los barrenos, retirando el polvo y material flojo o suelto con aspiradora. Posteriormente, se retiran las partículas de la grieta con agua a presión (0,10 MPa = 1 kg/cm<sup>2</sup>), empezando desde la parte más alta. Se debe dejar que el agua fluya hasta que salga libre de partículas.*
- *La inyección se hace a presiones de 0,05 a 0,1 MPa (0,5 a 1 kg/cm<sup>2</sup>) dependerá del nivel de daño en el muro y de la calidad de la mampostería. Si se emplean altas presiones, es probable que burbujas de aire dentro de la lechada queden atrapadas, generando separación o filtrado de sólidos al penetrar en la grieta*

- *Para evitar problemas de estabilidad estructural, se debe revisar que la presión hidrostática producto de la lechada inyectada no sea excesiva. Se recomienda iniciar con la inyección de las grietas de mayor anchura.*
- *Para lograr un curado adecuado, es recomendable retirar el sellador de grietas cuando menos 24 h después de la inyección” [35].*

Los autores indican que, mediante las investigaciones en laboratorio, se avanzó con éxito en el desarrollo preliminar de la técnica de rehabilitación de muros, con lechada de inyección. Para poder desarrollar un método de reparación más efectivo y seguro, con aplicaciones comerciales, conviene continuar con estudios de laboratorio para optimizar la formulación de la lechada de inyección y adelantar pruebas con paredes de gran tamaño en laboratorios de estructuras, para refrendar los resultados obtenidos.

### **3.5.2 Grout y epoxi inyecciones**

Dentro de la investigación denominada “*Mechanical Effects of Bed Joint Steel Reinforcement in Historic Brick Masonry Structures, Structural Faults and Repairs*” [35] se adelantaron pruebas para investigar la eficacia de una técnica de rehabilitación de mampostería de ladrillo deteriorado, consistente en la instalación de refuerzos internos e inyección de lechada con resina epoxica, buscando mejorar la resistencia y la durabilidad de estos muros. Esta técnica es particularmente adecuada para paredes de ladrillo que tiene cursos de mortero regulares.

El equipo investigador elaboró cinco muretes de prueba, con dimensiones de 1100x500x250 mm., que fueron sometidos a esfuerzos de compresión, con cargas equivalentes al 80 % de su resistencia teórica. Los muretes fueron reforzados con 2 barras de acero de 6 mm, cada tres juntas horizontales – de 10 a 15mm – colocadas en un solo lado del muro. Para el relleno de las juntas, se usó mortero de cal hidráulica mezclada con aditivos expansivos y de resinas sintéticas

Un aspecto esencial para lograr la penetración completa del material de Inyección de resinas y morteros epóxicos, dentro de las grietas, es la viscosidad, la cual deberá ser proporcional al sitio a rellenar. Mientras mayor sea la anchura de la grieta, mayor deberá ser la viscosidad del fluido.

Los muretes fueron ensayados nuevamente, hasta llevarlos hasta el fallo. Los autores del estudio concluyen, luego de los ensayos que: “*Los resultados experimentales mostraron*

que aunque la técnica no mejoró la resistencia de los muros, pero se podrían obtener los resultados significativos en la reducción de la deformación. Los muretes mostraron reducción del craqueo, en el lado reforzado, mientras que las grietas en el otro lado (sin refuerzo) aumentaron en tamaño y profundidad” [36].

Sergio Alcocer [14] describe una variación de este procedimiento de reparación, consiste colocar varillas de acero a lo largo de las juntas de mortero, a ambos lados del muro de ladrillo, ancladas mediante ganchos, en los extremos de los muros, dentro de los elementos de confinamiento, si existen. Para alojarlas, se prepara la junta con ranuras longitudinales y se hacen perforaciones transversales dentro muro, intervalos regulares, para amarrar a las barras entre sí, según se detalla en la figura 3.5.2-1. Las ranuras y perforaciones se rellenan con mortero de cemento o, de pasta epóxica, preferentemente.

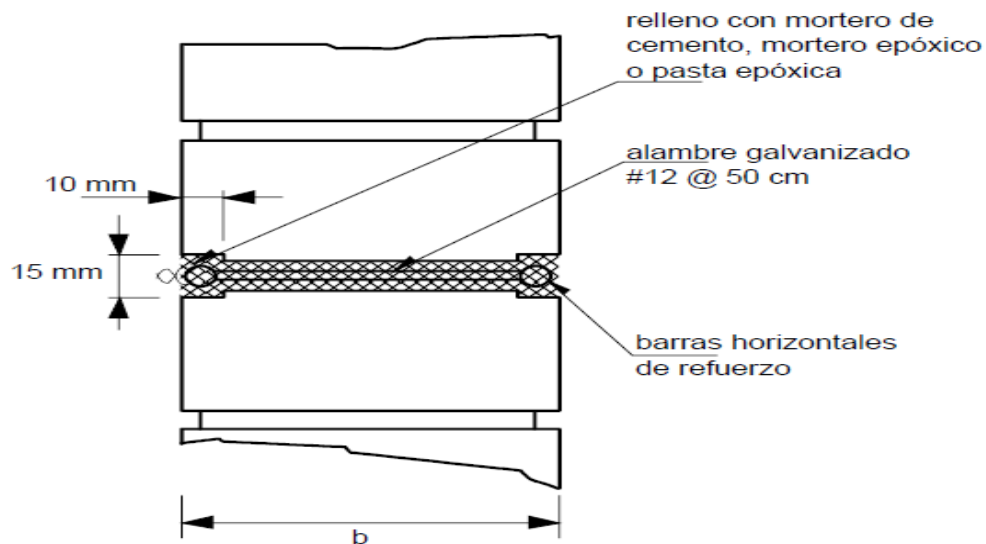


Figura 3.5.2-1 Detalle de inserción de varillas de acero en las juntas de un muro de ladrillo. Fuente: ALCOCER, S. Rehabilitación de estructuras de mampostería. [aut. libro] Fundación ICA. *Edificaciones de mampostería para vivienda*. s.l.: El autor, 1999, págs. 457-560.

Para estimar la contribución de las varillas de acero a la resistencia de la mampostería, se recomienda consultar la referencia Alcocer (1997) en el tema referente a influencia del refuerzo horizontal en el comportamiento de muros.

El autor termina señalando lo siguiente: “Aunque con esta técnica se alcancen recuperaciones aceptables de resistencia, rigidez y capacidad de deformación, exige un procedimiento muy laborioso y con buena supervisión. Su desempeño es altamente dependiente de la calidad de la ejecución. Se recomienda evaluar con cuidado la

idoneidad de usar esta técnica según la condición del sitio, y de la mano de obra y supervisión de la localidad” [14].

Una estrategia similar se ha usado exitosamente en la rehabilitación de edificaciones de carácter patrimonial, la cual consiste en la perforación de agujeros verticales y / u horizontales en las paredes de mampostería no reforzada, para insertar barras de refuerzo convencional o de tendones de pretensado.

La técnica se ha combinado con la Inyección de Lechada de Grouting y procedimiento de reforzamiento, como se puede visualizar en las Imágenes 3.5.2-1, 3.5.2-2 y 3.5.2-3. En tales casos se ha logrado aumentar la resistencia a flexión y a la cizalladura, la resistencia lateral y la capacidad de deformación del sistema estructural.

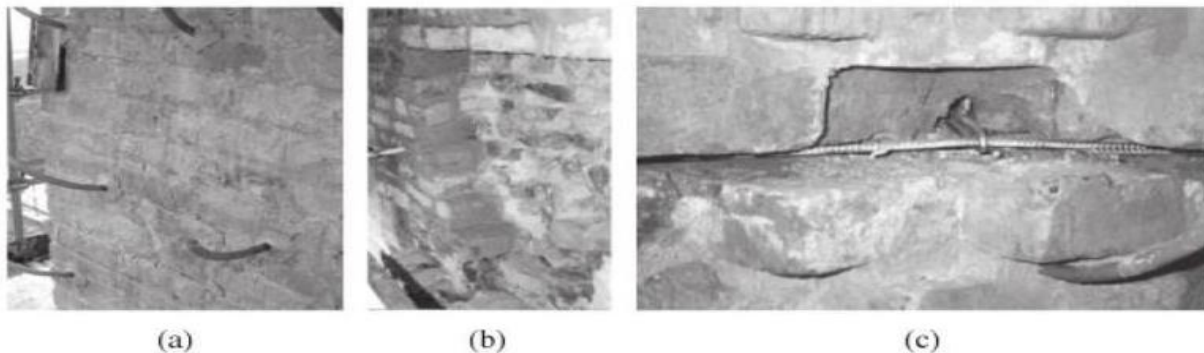


Imagen 3.5.2-1. Secuencia del reforzamiento con la introducción de acero. Imagen 3.5.2-2. Secuencia del reforzamiento con inyección de mortero. Imagen 3.5.2-3. Secuencia del reforzamiento acero e inyección de mortero. Fuente: BINDA, L, y OTROS. *Mechanical effects of bed joint steel reinforcement in historic brick masonry structures*. Londres: s.n., 2005, Structural Faults and Repairs.

### 3.5.3 Reforzamiento de mampostería con tensores y lechada de cemento

En la Investigación denominada “*Increasing the integrity of retrofitted URM walls using cementitious grout and spiral ties*”, [36] adelantada por el profesor Richard E. Klingner y otros, en la Universidad de Austin, Texas, se hizo la evaluación al estado de los edificios de mampostería después del terremoto de Northridge.

Las mamposterías que no se vieron afectadas, mostrando comportamiento eficiente, fueron las reforzadas y provistas de conexiones mecánicas con los diafragmas horizontales de la edificación. También quedó demostrado el comportamiento eficiente de



antepechos arriostrados, por lo que estas características mejoran de la seguridad edificios de mampostería.

Sin embargo, también se evidenció que tales medidas de reforzamiento no son tan eficaces cuando se aplican a las estructuras de mampostería con materiales o conexiones mecánicas deficientes. Para tales casos, se propuso la inyección de lechada de cemento en la mampostería y la unión de las hiladas entre sí, mediante tensores espirales. Para investigar esta técnica, se construyó un Edificio de mampostería no reforzada de 3 pisos y se le aplicó, en su base una carga lateral cíclica, con aceleraciones similares a las registradas con el sismo de Northridge.

Se hicieron ensayos similares a dos parapetos de mampostería no reforzada, a escala natural, uno de ellos sin refuerzo, y el otro reforzado con inyección de lechada de cemento y tensores metálicos. Ambos parapetos resistieron aceleraciones similares a las experimentadas en sismo de Northridge, de 1,8 g, pero el segundo parapeto presentó mejor desempeño. Los resultados de las pruebas sugieren que estas técnicas de reforzamiento son eficaces en la mejora del desempeño de los edificios de mampostería rehabilitados. Se concluyó que: *“la técnica de inyección de grietas y huecos con lechadas de cemento, en combinación con la colocación de tensores, han demostrado un excelente desempeño para reforzar parapetos de azotea y evitar su falla fuera de plano”* [37].

#### **3.5.4 Comparativo entre los sistemas de Reforzamiento**

Basados en los estudios de los diferentes sistemas de reforzamiento descritos y estudiados, se presenta un comparativo, entre ellos, en términos de eficiencia, ventajas, desventajas y aspectos normativos, en la Tabla 3.5.4.

Se pretende que esta información sirva de referencia en procesos futuros de reforzamiento de edificaciones a nivel nacional

TECNICAS DE REFORZAMIENTO DE MAMPOSTERIA	EFICIENCIA	DESVENTAJAS	APLICABILIDAD - NORMA SNR10	
REFORZAMIENTO CON ELEMENTOS LAMINARES	FIBRAS DE CARBONO CON MATRIX DE RESINA DE POLIMEROS (FCRP)	Aumento en resistencia entre el 50% y el 80%, en muros de mampostería simple y del 13% al 34%, en mampostería reforzada. Se comprueba aumento de rigidez y falla menos frágil, cuando el refuerzo se distribuye uniformemente, en el muro.	Cuando los muros de mampostería son sometidos a grandes esfuerzos de compresión se pueden producir desprendimientos de las laminas de FCRP	No se encontraron referencias reglamento NSR 10, con relación a este sistema de reforzamiento
	FIBRA DE VIDRIO	Se comprobó el aumento de la resistencia de los muros, en un 50% luego de ser reforzados. Se conserva el espesor original del muro. La técnica también se ha probado exitosamente, en la reparación de muros afectados por sismo.	Con los ensayos se presentaron doblamientos y pandeos en las varillas	No se encontraron referencias reglamento NSR 10, con relación a este sistema de reforzamiento
	CORREAS DE ACERO - CORREAS PLASTICAS	Este sistema de refuerzo aporta un aumento importante en la resistencia de los muros, así como en la resistencia a esfuerzos cortantes, aunque los principales criterios a tener en cuenta al momento de tomar la decisión de emplear alguno de estos consistieron en el porcentaje de incremento en los costos de fabricación	Se requiere de especial cuidado al realizar los anclajes de las platinas a la estructura, ya que estos puntos por ser los que transmiten toda la carga a la estructura y dan soporte a los muros, para evitar que fallen	No se encontraron referencias reglamento NSR 10, con relación a este sistema de reforzamiento
	LAMINAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) RECICLADO	Al comparar los ensayos realizados en muretes sin refuerzo, frente a los realizados con las láminas PET flexibles, su aporte a la resistencia no fue el esperado, pues se obtuvieron resultados muy similares para ambos casos.	del muro no fue el esperado. Se realizaron ensayos a varios tipos de adhesivos, los cuales degradaron las laminas haciéndoles perder su resistencia a la tensión, con los ensayos.	No se encontraron referencias reglamento NSR 10, con relación a este sistema de reforzamiento
	LISTONES DE MADERA	26.9% mayor resistencia al corte. Coeficiente de ductilidad 1,5 y 2 Integralidad del sistema, aun con grietas en el muro. El sistema tiene Bajo costo	En la investigación no desarrollaron sistemas de conexión, de los listones a estructuras de concreto	El estudio se hizo bajo el TÍTULO G de la norma NSR-10, muchos de los cuales son vigentes en el TÍTULO G- ESTRUCTURAS DE MADERA Y ESTRUCTURAS DE GUADUA del reglamento SNR-10
REFORZAMIENTO CON MALLAS	MALLAS ELECTROSOLDADAS Y CON TARRAJE DE (MORTERO 1:4)	El coeficiente sísmico máximo superó ampliamente (3,4 veces) al coeficiente sísmico obtenido previo al colapso del tabique no arriostrado TT, lo cual indica la validez de cualquiera de las 2 técnicas de arriostramiento planteadas.	En el estudio no se contempló la amplificación de las aceleraciones horizontales que podría existir en los muros ubicados en los niveles superiores de un edificio, tampoco se contempló el movimiento sísmico vertical que podrían tener las vigas en voladizo	El reglamento NSR 10, regula la aplicación de ambas técnicas combinadas, en el diseño y construcción de mampostería estructural, en su Capítulo D.12 MAMPOSTERÍA REFORZADA EXTERNAMENTE y en el Capítulo E.7 BAHAREQUE ENCEMENTADO.
	MALLAS DE POLIMERO	con muchas grietas horizontales cerca del tramo central - La máxima carga horizontal promedio fue de 70kN. Para los paneles sin carga vertical, el patrón de grietas fue aún más disperso con muchas grietas cerca del tramo central. En este caso la carga máxima fue ligeramente mayor que 20kN y el desplazamiento horizontal máximo fue de 45mm.	Para adelantar los ensayos se diseño y fabrico una malla especial, no comercial. Se espera que los resultados del comportamiento son también aplicables a las geo mallas de polímero	No se encontraron referencias reglamento NSR 10, con relación a este sistema de reforzamiento
	POLIMEROS - PP BAND	La resistencia residual, después de la aparición de la falla diagonal fue mayor en un 50% de la resistencia máxima. Las paredes reforzadas mantuvieron la rigidez, incluso después de las grandes derivas laterales- Se utilizan materiales de fácil consecución, que permiten obtener buenos resultados de adherencia, cohesión y compresión	No se puede usar en la recuperación de mampostería afectada por sismo, al no poder aportarle la rigidez requerida	No se encontraron referencias reglamento NSR 10, con relación a este sistema de reforzamiento
	3.2.4 TEJIDO BIDIRECCIONAL DE FIBRA DE VIDRIO	Una comparación entre la aceleración máxima y la deformación debido al momento de flexión es una tasa mayor que 80% entre el panel y reforzado, esto previene y retarda los procesos de fisuración, rotura y caída de partes de muro, permitiendo la evacuación de las edificaciones afectadas por sismo, de manera segura.	No es fácil la consecución de este sistema en el mercado nacional, y esta sujeto a importación. El muro reforzados presentaron algunas fisuras, de menor grado especialmente en las esquinas de los vanos	No se encontraron referencias reglamento NSR 10, con relación a este sistema de reforzamiento
REFORZAMIENTO CON ELEMENTOS METALICOS	CABLES DE ACERO	Se comprobó el aumento de la resistencia de los muros, en un 50% luego de ser reforzados	A ser un sistema de reforzamiento externo. Los cables pueden interferir con los elementos arquitectónicos y las ventanas de las fachadas	Aplica el reglamento NSR 10, en F.1.1.1 — ESTRUCTURAS DE ACERO — El término acero estructural empleado en la presente norma se refiere a los elementos de acero estructural esenciales para resistir las cargas de diseño.
	PLATINAS DE ACERO	Con la introducción de perfiles de confinamiento, se mejora el comportamiento lateral de mampostería confinada por deslizamiento a lo largo de ese plano y sin aumento significativo de la rigidez. Con la inclusión de elementos de confinamiento diagonal aumenta la capacidad de resistencia y de deformación y se logró disminuir el daño, fisuración y deformación de los muros confinados	Se requiere cuidado muy especial al realizar los anclajes de las platinas a la estructura, ya que estos puntos por ser los que transmiten toda la carga a la estructura y dan soporte a los muros, para evitar que fallen	Aplica el reglamento NSR 10, en F.1.1.1 — ESTRUCTURAS DE ACERO — El término acero estructural empleado en la presente norma se refiere a los elementos de acero estructural esenciales para resistir las cargas de diseño.
	GRAPAS DE ACERO Y MALLAS	Resistencia: El sistema de malla de acero es más efectivo por aumento de resistencia y rigidez, mientras que el sistema de costura con grapas solo permite reparación de grietas principales.	Se debe intervenir a ambos costados de los muros. El pañete puede deteriorarse por la presencia de arcillas y por el cambio de rigidez de los muros y los elementos de concreto si no se dejan dilataciones	Aplica el reglamento NSR 10, regula la aplicación de ambas técnicas combinadas, en el diseño y construcción de mampostería estructural, en su Capítulo D.12 MAMPOSTERÍA REFORZADA EXTERNAMENTE y en el Capítulo E.7 BAHAREQUE ENCEMENTADO.
	ARRIOSTRAMIENTO EXTERNO CON PERFILES DE ACERO	El sistema metálico toma las fuerzas laterales, para aliviar a las mamposterías de estas cargas y aumenta la resistencia lateral y la capacidad de deformación del sistema estructural	Los perfiles de acero pueden interferir con los elementos arquitectónicos y las ventanas de las fachadas	Aplica el reglamento NSR 10, en F.1.1.1 — ESTRUCTURAS DE ACERO — El término acero estructural empleado en la presente norma se refiere a los elementos de acero estructural esenciales para resistir las cargas de diseño.
CONCRETO REFORZADO	MAMPOSTERÍA CONFINADA CON ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS	Se demostró que la albañilería confinada puede constituir un sistema constructivo apto para regiones sísmicas, incluso con materiales de poca resistencia y defectos constructivos. Con la inclusión de varillas de acero dentro de las pegs horizontales o malla electro soldada, se incrementa la capacidad de la estructura.	Las columnetas y vigas de confinamiento agregan carga muerta al sistema estructural de la edificación	El reglamento NSR 10, regula D.10.1.1 — CLASIFICACIÓN — Se clasifica como mampostería confinada aquella que se construye utilizando muros de mampostería rodeados con elementos de concreto reforzado, vaciados posteriormente a la ejecución del muro y que actúan monolíticamente con éste.
	CONFINAMIENTO DE MUROS DE ANTEPECHO, CON ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS	Todos los parapetos arriostrados resistieron cargas seis veces superiores al no reforzado y fallaron por anclaje del refuerzo vertical, con una resistencia mayor a la carga reglamentaria de diseño, pero menor al valor teórico de fluencia, se usó anclaje químico.	Las columnetas agregan carga muerta al sistema estructural de la edificación	El reglamento NSR 10, regula D.10.1.1 — CLASIFICACIÓN — Se clasifica como mampostería confinada aquella que se construye utilizando muros de mampostería rodeados con elementos de concreto reforzado, vaciados posteriormente a la ejecución del muro y que actúan monolíticamente con éste.
	RECALCE DE MAMPOSTERÍA CON CONCRETO REFORZADO	El recubrimiento de hormigón armado corrige la fragilidad de los muros. El acero, en proporción mayor al 0,005, conectado adecuadamente a las paredes y fundaciones existentes, mejora la resistencia a la flexión y al cizallamiento, reduciendo en mayor ductilidad.	Los recalces de concreto reforzado agregan gran carga muerta al sistema estructural de la edificación	El reglamento NSR 10, regula D.2.1.1 — MAMPOSTERÍA DE CAVIDAD REFORZADA — como la construcción realizada con paredes de piezas de mampostería de caras paralelas reforzadas con una capa de concreto reforzado, con funcionamiento compuesto
REPARACIÓN DE GRIETAS	INYECCIÓN DE MORTERO FLUIDO DE CEMENTO (GROUTING)	Los muros que han sido reparados mediante inyección de morteros de cemento han recuperado, e incluso mejorado, su resistencia (80 a 120 por ciento de recuperación), rigidez (50 a 100 por ciento) y capacidad de deformación (80 a 90 por ciento) con respecto a las propiedades originales	Los morteros fluidos deben ser inyectables, estables, resistentes y contener partículas pequeñas por lo que requieren de diseño especial. El proceso de inyección necesita mano de obra especializada y estricta supervisión	No se encontraron referencias reglamento NSR 10, con relación a este sistema de reforzamiento
	GROUT Y EPOXI INYECCIONES	Los resultados experimentales mostraron que aunque la técnica no mejoró la resistencia del material, redujo ostensiblemente la deformación, el agrietamiento y reducción del craqueo con relación a la mampostería sin refuerzo.	El metodo es aplicable para reparar grietas de mayor tamaño y bien definidas que se puedan rellenar, con inyección de resinas epoxicas, morteros epoxicos. No se pueden tratar agrietamientos generalizados	No se encontraron referencias reglamento NSR 10, con relación a este sistema de reforzamiento
	INYECCIÓN DE MORTERO FLUIDO DE CEMENTO Y BARRAS DE ACERO	Resultados de laboratorio han indicado un pobre comportamiento ante sismo de muros reparados con varillas de acero debido al pandeo de estas, cuando el sentido de aplicación de la acción se invierte y tienen que trabajar a compresión	Esta técnica, exige un procedimiento muy laborioso y con buena supervisión. El desempeño final es altamente dependiente de la calidad de la ejecución	No se encontraron referencias reglamento NSR 10, con relación a este sistema de reforzamiento
	MAMPOSTERÍA POSTENSADA	Con esta metodología, se puede mejorar la resistencia a flexión y a la cizalladura, de los muros convencionales. También se mejora la ductilidad	Para anclar la varilla a la estructura, se requiere colocar epoxicos en sitios de difícil acceso, lo cual exige un procedimiento muy laborioso y con estricta supervisión.	No se encontraron referencias reglamento NSR 10, con relación a este sistema de reforzamiento

Tabla 3.5.4. Eficiencia, ventajas, desventajas y aspectos normativos de los sistemas de reforzamiento.

Fuente: Elaboración propia (ver en hoja 96)

## 4.COSTOS DE REFORZAMIENTO

En concordancia con el Objetivo General de la investigación: Estudio técnico y económico de diversas técnicas de reforzamiento de fachadas de mampostería, aplicables en procesos de rehabilitación y reforzamiento de edificaciones, en Colombia; se ha indagado sobre los costos de los sistemas de reforzamiento, mencionados en el capítulo anterior, para establecer las diferencias de costo de estos sistemas con relación a la mampostería parcialmente reforzada, a la mampostería de muros confinados y la mampostería no reforzada, que tradicionalmente se ha empleado en nuestro medio Colombiano.

Para establecer el costo actualizado de la mampostería simple, se han tomado como referencia, los análisis detallados generales del capítulo de mampostería, de la publicación especializada Construdata N° 174 [37], que se ha incluido en el anexo A. En esta tabla se relacionan los costos de la mano de obra y totales, por unidad de medida, para las principales ciudades Colombianas.

Para establecer los costos de construir con mampostería, la mampostería parcialmente reforzada y la mampostería de muros confinados, según los parámetros establecidos en el título D del Reglamento NSR-10 [2], se elaboraron análisis de precios unitarios (APU) de las actividades no incluidas en los precios de referencia de Construdata [36]. Para esto, se utilizó el programa para computador, Construplan versión 2.20 producido por Construdata y Legis S.A.

En la elaboración de lo APU, se han tenido en cuenta lo indicado en numerales “D.1.1.5 — REQUISITOS MÍNIMOS” [2] y “D.3.1.1 — REQUISITOS PARA LOS MATERIALES”. Contenidos en el Reglamento NSR-10” [2].

En los APU no se incluyeron precios de transporte ni costos indirectos, ya que estos corresponden a las particularidades de cada obra.

**APU 4.0.1. COLUMNETA O VIGA DE PARA REFUERZO DE MUROS**

**U.M. ML**

<b>1 Materiales</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Concreto corriente de 3000 psi	M3	\$350.784	0,01	\$3.508
Listón de cedro macho de 5 x 1.5 cm	MI	\$ 1.882	0,33	\$621
Puntilla c/cabeza 2``	LB	\$2.400	0,08	\$192
Repisa de madera inmunizada	MI	\$12.100	0,08	\$968
A.c.p.m	GI	\$7.973	0,03	\$239
				<b>\$ 5.528</b>
<b>2 Equipos</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Andamio multidireccional 1.4 x 3	D	\$ 9.164	0,15	\$ 1.375
Vibrador de aguja	DD	\$ 25.000	0,04	\$ 1.000
				<b>\$ 2.375</b>
<b>3 Mano de Obra</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Mano de obra - cuadrilla de oficial + ayudante	HC	\$ 18.780	0,70	\$ 13.146
				<b>\$ 13.146</b>
<b>4 Transporte</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
				<b>0</b>
<b>5 Costos Indirectos</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
				<b>0</b>
<b>Valor Unitario Total:</b>				<b>\$ 21.409</b>
<b>Valor Unitario en SMMLV</b>				<b>0.031</b>

APU 4.0.1. Columneta o viga de confinamiento muros (ml). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.

**4.0.2 ACERO DE REFUERZO, 4.200 Kg/cm<sup>2</sup> U.M.: KG.**

<b>1 Materiales</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Acero figurado 4.200 Kg/cm <sup>2</sup>	Kg	\$1.933	1,01	\$1.953
Alambre negro no.18	KG	\$3.436	0,02	\$69
Segueta	Un	\$ 3.450	0,03	\$ 104
				<b>\$ 2.125</b>

<b>2 Equipos</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Andamio multidireccional 1.4 x 3	D	\$ 9.164	0,03	<b>\$ 275</b>

<b>3 Mano de Obra</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Mano de obra - cuadrilla de oficial + ayudante	HC	\$ 18.780	0,02	\$ 375
				<b>\$ 375</b>

<b>Valor Unitario Total:</b>	<b>\$ 2.775</b>
<b>Valor Unitario en SMMLV</b>	<b>0.004</b>

APU 4.0.2. Acero de refuerzo, 4.200 Kg/cm<sup>2</sup> (Kg). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.

**APU 4.0.3. ANCLAJE d= 1/2" U.M.: UN**

<b>1 Materiales</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Broca 5/8"	UN	\$ 9.000	0,05	\$ 450
Adhesivo Sikadur Anchorfix ó similar	UN	\$ 48.720	0,03	\$ 1.462
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 100	1,00	\$ 100
				<b>1.768</b>

<b>2 Equipos En Alquiler</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Taladro percutor	DIA	\$ 30.000	0,01	\$ 300
				<b>\$ 300</b>

<b>3 Mano de Obra</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla de oficial + ayudante	HC	\$ 18.780	0,11	\$ 2.066
				<b>\$ 2.066</b>

<b>Valor Unitario Total:</b>	<b>\$ 4.377</b>
<b>Valor Unitario en SMMLV</b>	<b>0.007</b>

APU 4.0.3. Anclaje d=1/2" (un). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.

**APU 4.0.4 Anclajes d=3/8"****U.M.: UN**

<b>1 Materiales</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Broca 1/2"	UN	\$ 5.900	0,05	\$ 295
Adhesivo Sikadur Anchorfix o similar	UN	\$ 48.720	0,02	\$ 974
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 100	1,00	\$ 100
				<b>\$ 1.369</b>

<b>2 Equipos En Alquiler</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Taladro percutor	DIA	\$ 30.000	0,01	\$ 300
				<b>\$ 180</b>

<b>3 Mano de Obra</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla de oficial + ayudante	HC	\$ 18.780	0,10	\$ 1.878
				<b>\$ 1.878</b>

<b>Valor Unitario Total:</b>	<b>\$ 3.547</b>
<b>Valor Unitario en SMMLV</b>	<b>0.006</b>

APU 4.0.4. Anclajes d=3/8" (un). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.

**APU 4.0.5. DILATACION DE ICOPOR e=1.5 cm a=12 cm****U.M.: ML**

<b>1 Materiales</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 1.000	0,20	\$ 200
Icopor 1x1x1.5 cm	UN	\$ 6.600	0,12	\$ 792
				<b>992</b>

<b>2 Equipos</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
0				

<b>3 Mano de Obra</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla de oficial + ayudante	HC	\$ 18.780	0,1350	\$ 2.535
				<b>\$ 2.535</b>

<b>Valor Unitario Total:</b>	<b>\$ 3.527</b>
<b>Valor Unitario en SMMLV</b>	<b>0.005</b>

APU 4.0.5. Dilataciones con icopor e= 1.5cm a= 12cm 9 (ml). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.

**APU 4.0.6. BLOQUE DE ICOPOR 10 x 10 x 12 cm****U.M.: UN**

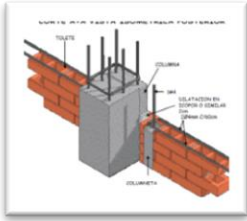
<b>1</b>				
<b>Materiales</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 1.000	0,20	\$ 200
Icopor en bloque 10 x 10 x 12 cms	UN	\$ 2.450	1,00	\$ 2.450
				<b>\$ 2.650</b>
<b>2</b>				
<b>Equipos</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
				\$ 0
<b>3</b>				
<b>Mano de Obra</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla de oficial + ayudante	HC	\$ 18.780	0,0850	\$ 1.596
				<b>\$ 1.596</b>
<b>Valor Unitario Total:</b>				<b>\$ 4.246</b>
<b>Valor Unitario en SMMLV</b>				<b>0.007</b>

APU 4.0.6. Bloque de icopor 10 X 10 X 12 cm (un). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.

**4.0.7.- MORTERO FLUIDO TIPO GROUTING EN DOVELAS****U.M.: ML**

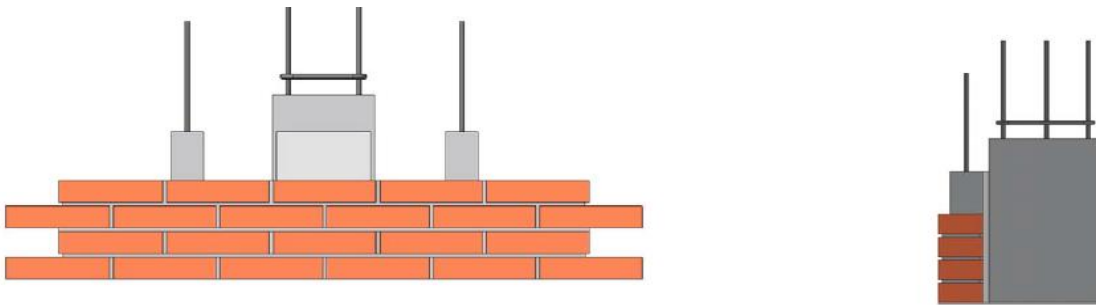
<b>1</b>				
<b>Materiales</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 1.000	0,10	\$ 100
Mortero tipo Sikagrout-	KG	\$ 2.080	5.99	\$ 12,459
				<b>\$ 12,559</b>
<b>2</b>				
<b>Equipos</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
				<b>0</b>
<b>3</b>				
<b>Mano de Obra</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla de oficial + ayudante	HC	\$ 18.780	0.21	\$ 3.944
				<b>\$ 3.944</b>
<b>Valor Unitario Total:</b>				<b>\$ 16.503</b>
<b>Valor Unitario en SMMLV</b>				<b>0.026</b>

APU 4.0.7. Mortero fluido tipo grouting en dovelas (ml). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.

**APU 4.0.8.-MAMPOSTERÍA PARCIALMENTE REFORZADA****U.M.: M2**

Corresponde al reforzamiento de 1 m<sup>2</sup>, de un muro de ladrillo. Imagen 4-1. Perspectiva del reforzamiento Fuente: CIMOC, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, COLCIENCIAS, LADRILLERA SANTAFÉ, SIKA. Nuevos Sistemas para el diseño y construcción de muros divisorios y de fachada en edificaciones [Cartilla]. Bogotá, D.C.: s.n., 2003 [<sup>38</sup>].

Teniendo en cuenta las previsiones del capítulo D.8 *MUROS DE MAMPOSTERÍA PARCIALMENTE REFORZADA CONSTRUIDOS CON UNIDADES DE PERFORACIÓN VERTICAL* se ha elaborado el APU, para reforzamiento de un muro de 2.40 x 2.40 m. con espesor 0.12 m, con cuatro columnetas y refuerzo horizontal cada 80 cm. Donde se incluyó el costo del acero de refuerzo, grouting para dovelas y anclajes de acero, según los detalles contenidos en las imágenes 4-1, 4-2 y 4-3.



Imágenes 4-2 y 4-3 Detalle constructivo para reforzamiento de mampostería de ladrillo prensado de arcilla, con perforación vertical, en planta y en corte. Fuente: CIMOC, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, COLCIENCIAS, LADRILLERA SANTAFÉ, SIKA. Nuevos Sistemas para el diseño y construcción de muros divisorios y de fachada en edificaciones [Cartilla]. Bogotá, D.C.: s.n., 2003.

**ACTIVIDADES REQUERIDAS**

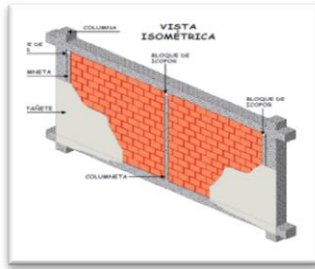
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Columneta para muro	ML	\$ 21,409	1,25	\$ 26,311
Acero de refuerzo figurado, 60,000 PSI	KG	\$ 2.775	6,78	\$ 18.817
Anclajes d=3/8"	UN	\$ 4.377	1,42	\$ 6.216
Dilataciones con icopor e=1.5 cm	ML	\$ 3.308	0,35	\$ 1.158
<b>Valor Total:</b>				<b>\$ 52.502</b>
<b>Vr. Unitario</b>		<b>SMMLV</b>	<b>0.081</b>	

APU 4.0.8. Mampostería parcialmente reforzada (m<sup>2</sup>). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.



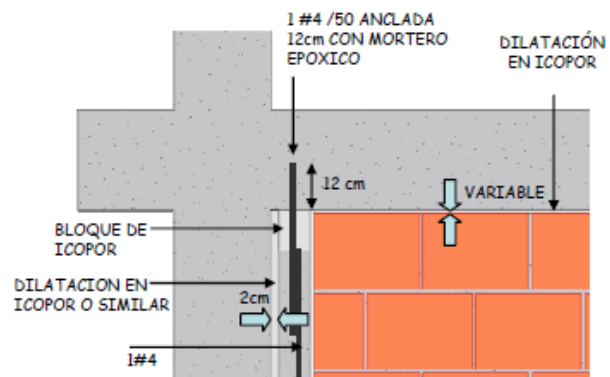
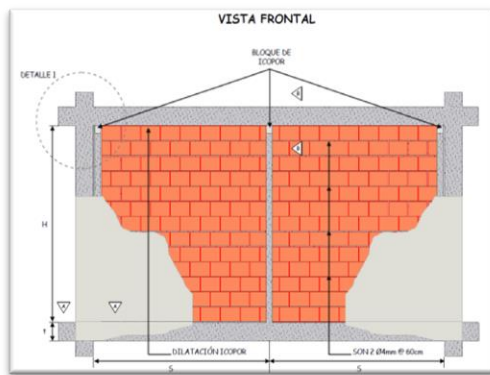
**APU 4.0.9.-MAMPOSTERIA DE MUROS CONFINADOS**

**U.M.: M2**



Corresponde al reforzamiento de 1 m<sup>2</sup>, de un muro de bloque de arcilla N° 5, con perforaciones horizontales. Imagen 4-4. Perspectiva del reforzamiento - Fuente: CIMOC, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, COLCIENCIAS, LADRILLERA SANTAFÉ, SIKA. Nuevos Sistemas para el diseño y construcción de muros divisorios y de fachada en edificaciones [39].

Teniendo en cuenta las previsiones del capítulo *CAPÍTULO D.10 MAMPOSTERÍA DE MUROS CONFINADOS*, se ha elaborado el APU, donde se incluyó el costo del acero de refuerzo, columnetas y anclajes de acero, según los detalles contenidos en las imágenes 4-4, 4-5 y 4-6.



Imágenes 4-5 y 4-6. Detalle constructivo para confinamiento de un muro de bloque de arcilla, en perspectiva y en corte. Fuente: CIMOC, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, COLCIENCIAS, LADRILLERA SANTAFÉ, SIKA. Nuevos Sistemas para el diseño y construcción de muros divisorios y de fachada en edificaciones[39].

**ACTIVIDADES REQUERIDAS**

Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Columneta confinamiento de muro	ML	\$21.049	1,25	\$26.311
Acero de refuerzo figurado, 60,000 PSI	KG	\$2.775	8,6	\$23.868
Anclajes d=1/2"	UN	\$4.377	1,04	\$4.552
Dilataciones con icopor e=1.5 cm	ML	\$3.527	2,5	\$8.818
Bloque de icopor 10 x 10 x 12 cm	UN	\$3.944	0,52	\$2.051
<b>Valor Total:</b>				<b>\$ 65.601</b>
<b>Vr. Unitario</b>	<b>SMMLV</b>			<b>0.102</b>

APU 4.0.9. Mampostería de muros confinados (m<sup>2</sup>). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.

Según se puede establecer a partir de estos datos el aumento porcentual por construir con mampostería parcialmente reforzada, corresponde al 76% del costo de un muro de ladrillo prensado y al 121%, de un muro de bloque N° 4. De igual manera se puede concluir que el aumento porcentual aplicar la técnica de mampostería de muros confinados, corresponde al 95% del costo de un muro de ladrillo prensado y al 151%, de un muro de bloque N° 4. Los costos de los muros no reforzados están contenidos en Anexo B y fueron tomados de la publicación especializada Construdata [36].

Con la misma metodología se ha adelantado el análisis comparativo de costo de los diferentes sistemas de rehabilitación y reforzamiento de fachadas de mampostería, referenciados en el capítulo tercero. La gran mayoría de investigaciones se han adelantado en otros países, por lo que se ha buscado adaptar estas técnicas de reforzamiento a las condiciones de nuestro medio Colombiano, incluyendo materiales con las mismas condiciones técnicas, en las proporciones usadas en la construcción de los muretes de ensayo. Cabe anotar que varios de los métodos de reforzamiento son similares a algunas técnicas de construcción tradicionales, por lo que son totalmente aplicables en Colombia.

Aunque la mayoría de las investigaciones consultadas tienen como motivación la búsqueda de alternativas económicas de rehabilitación, para lograr contrarrestar la vulnerabilidad viviendas informales urbanas o rurales; muy pocas de ellas hacen referencia a los costos. Sin embargo, dan cuenta detallada de los materiales básicos empleados y sus características técnicas. Datos que resultaron fundamentales para poder valorar la aplicación de estas técnicas de reforzamiento, a nuestro medio. Para lograr este objetivo se elaboraron análisis de precios unitarios (APU), por metro cuadrado de reforzamiento, en pesos colombianos actuales. Los costos también están expresados en salarios mínimos mensuales legales vigentes en Colombia (SMMLV) del año 2015. La actualización de costos, para años subsiguientes, se puede hacer multiplicando el valor del salario mínimo vigente.

Cabe acotar que dentro de estos APU, que se presentan a continuación, solo se incluyeron materiales y actividades de reforzamiento, a precios de Bogotá. D.C., sin tener en cuenta el costo del muro de mampostería a reforzar. Tampoco se incluyeron los precios de transporte ni costos indirectos, ya que estos se derivan de las condiciones particulares, en que se desarrollan las obras.

## 4.1 Costo de reforzamiento con elementos laminares

### Análisis de precios unitarios

**APU 4.1.1.-REFORZAMIENTO CON LÁMINAS DE FIBRAS DE CARBONO U.M.: M2**



Imagen 4.1-1. Reforzamiento de 1 m<sup>2</sup> de un muro de ladrillo. Fuente: "Reparación y reforzamiento de un muro de albañilería confinada mediante fibra de carbono" [16]. Reforzamiento de un murete de prueba de 2.40 x 2.40 m. con espesor 0.20 m, con cuatro laminas horizontales de fibra de carbono, de 10 cm. en ambos lados del muro.

<b>1 Materiales</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Mbrace lámina CF-130	M2	\$ 181.627	0,43	\$ 78.100
Mbrace pasta	KG	\$ 21.530	0,74	\$ 15.932
Mbrace primario	KG	\$ 54.055	0,22	\$ 11.892
Mbrace saturante	KG	\$ 27.468	0,30	\$ 8.240
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 3.483	1,00	\$ 3.483
				<b>\$ 117.481</b>
<b>2 Equipos</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Andamio multidireccional 1.4 x 3	DIA	\$ 9.164	0,15	\$ 1.375
				<b>\$ 1.375</b>
<b>3 Mano de Obra</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla especializada of. + ay.	HC	\$ 22.536	2,42	\$ 54.537
				<b>\$ 54.537</b>
<b>4 Transporte</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
				<b>\$ 0</b>
<b>Valor Unitario Total:</b>				<b>\$ 173.559</b>
<b>Vr. Unitario en SMLV</b>				<b>0.269</b>

APU 4.1.1. Reforzamiento con láminas de fibras de carbono (m<sup>2</sup>). Fuente: Adaptado de CYPE INGENIEROS S.A. Generador de Precios de la construcción. [En línea] 2015. Disponible en web: <<http://www.colombia.generadordeprecios.info>>.

Análisis de precios unitarios**APU 4.1.2.-REFORZAMIENTO CON VARILLAS FIBRA VIDRIO****U.M.: M2**

Imagen 4.1-2. Reforzamiento de 1 m<sup>2</sup> de un muro de bloque. Fuente: “Reparación y reforzamiento con varillas de fibra de vidrio de un muro de albañilería confinada” [17].- Reforzamiento de un murete de 2.40 x 2.40 m. con espesor 0.13 m, con seis varillas horizontales de fibra de vidrio (GFRP), en ambos lados del muro.

<b>1 Materiales</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Varilla 1/4" fibra de vidrio	ML	\$ 8.000	4,58	\$ 36.640
Arena lavada de peña	M3	\$ 75.160	0,01	\$ 750
Cemento gris	KG	\$ 500	1,56	\$ 780
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 1.000	0,10	\$ 100
Sikadur 31- adhesivo epóxico	KG	\$ 47.560	0,20	\$ 9.512
				<b>\$ 47.782</b>
<b>2 Equipos</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Andamio multidireccional 1.40 x 3.0	D	\$ 9164	0,15	\$ 1.375
				<b>\$ 1.375</b>
<b>3 Mano de Obra</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
cuadrilla especializada	HC	\$ 22.536	1,68	\$ 37.860
				<b>\$ 37.860</b>
<b>4 Transporte</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
				\$ 0
<b>Valor Unitario Total:</b>				<b>\$ 87.017</b>
<b>Vr. Unitario en SMLLV</b>				<b>0.135</b>

APU 4.1.2. Reforzamiento con varillas de fibra de vidrio (m<sup>2</sup>). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.

Análisis de precios unitarios**APU 4.1.3.- REFORZAMIENTO CON VARILLAS DE ACERO U.M.: M2**

Imagen 4.1-3. Reforzamiento de 1 m<sup>2</sup> de muro de ladrillo con correas de acero. Fuente: “*Experimental study masonry walls strengthened with steel and plastic straps*” [18].- Murete de prueba de 2.60 x 2.30 m. con espesor 0.13 m, con seis varillas horizontales de acero), 0.50 cm. alrededor del muro.

<b>1 Materiales</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Abrazadera 2 sin salid.tipo 3	Un	\$ 5.757	2,65	\$ 15.256
Grafil de 60000 psi	Kg	\$ 1.879	2,14	\$ 4.021
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 1.000	0,10	\$ 100
Perno roscado d= 5/8" mm x 6"	Un	\$ 110	5,30	\$ 583
				<b>\$ 19.960</b>
<b>2 Equipos</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Andamio multidireccional 1.40 x 3.0	D	\$ 9.164	0,15	\$ 1.375
				<b>\$ 1.375</b>
<b>3 Mano de Obra</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla de albañilería oficial + ayudante	HC	\$ 18.780	1,19	\$ 22.348
				<b>\$ 22.348</b>
<b>4 Transporte</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
				<b>\$ 0</b>
<b>Valor Unitario Total:</b>				<b>\$ 43.683</b>
<b>Vr. Unitario en SMLV</b>				<b>0.068</b>

APU 4.1.3. Reforzamiento con correas de acero (m<sup>2</sup>). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.

Análisis de precios unitarios

**APU 4.1.4.-REFORZAMIENTO CON LISTONES DE MADERA**

**U.M.: M2**

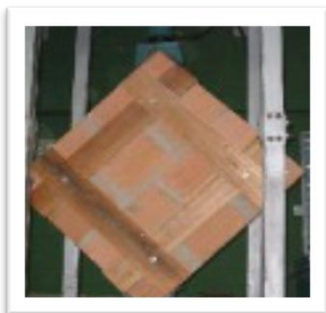


Imagen 4.1-4. Reforzamiento con listones de madera. Fuente: "Evaluación sísmica de mampostería no estructural reforzada con listones de madera" [19]. Cantidades de obra para el reforzamiento de un muro de bloque de 1 x 1 m. con espesor 0.13 m, con listones de madera, cada 0.60 cm. Unidos con pernos metálicos, en ambos sentidos y en los dos lados del muro.

<b>1 Materiales</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Arena lavada de peña	M3	\$ 75.000	0,02	\$ 1.350
Broca 1/2" x 6", para muro	UN	\$ 5.900	0,01	\$ 59
Cemento gris	KG	\$ 500	7,84	\$ 3.920
Grafil de 60000 psi	Kg	\$ 1.879	0,80	\$ 1.503
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 1.000	1,00	\$ 1.000
Tabla chapa 10 cms	MI	\$ 1.882	8,00	\$ 15.056
Perno roscado d= 5/8" mm x 6"	Un	\$ 110	8,00	\$ 880
Tuerca y arandela 5/8"	Un	\$ 329	8,00	\$ 2.632
				<b>\$ 26.400</b>
<b>2 Equipos alquilados</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Andamio multidireccional 1.40 x 3.0	DIA	\$ 9.164	0,15	\$ 1.375
Taladro	DIA	\$ 30.000	0,02	\$ 450
				<b>\$ 1.825</b>
<b>3 Mano de Obra</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla de albañilería oficial + ayudante	HC	\$ 18.780	0,80	\$ 15.024
				<b>\$ 15.024</b>
<b>4 Transporte</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
				\$ 0
<b>Valor Unitario Total:</b>				<b>\$ 43.249</b>
<b>Vr. Unitario en SMMLV</b>				<b>0.067</b>

APU. 4.1.4. Reforzamiento con listones de madera (m<sup>2</sup>). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.

Análisis de precios unitarios**APU 4.1.5-REFORZAMIENTO CON PET RECICLADO****U.M.: M2**

Imagen 4.1-5. Reforzamiento con Pet reciclado. Fuente: “Reforzamiento de estructuras de mampostería con láminas de tereftalato de polietileno” [20]. Cantidades de obra para el reforzamiento de un muro de bloque de 1.0 x 1.0 m. con espesor 0.13 m, con láminas de PET reciclado, cada 0.60 cm. en ambos sentidos y en los dos lados del muro.

<b>1 Materiales</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 1.000	1,90	\$ 1.900
Lamina de PET reciclado (5cms)	ML	\$ 1.500	8,00	\$ 12.000
Perno roscado d= 3/8" mm x 6"	Un	\$ 100	4,00	\$ 400
Sikadur Gel - adhesivo epóxico	KG	\$ 63.800	0,16	\$ 10.208
Tuerca y contratuerca de 3/8"	UN	\$ 500	4,00	\$ 2.000
				<b>\$ 26.508</b>
<b>2 Equipos Alquilados</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Andamio multidireccional 1.40 x 3.0	D	\$ 9.164	0,15	\$ 1.375
				<b>\$ 1.375</b>
<b>3 Mano de Obra</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla especializada of+ ay.	HC	\$ 22.536	0,66	\$ 14.874
				<b>\$ 14.874</b>
<b>4 Transporte</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
				<b>\$ 0</b>
<b>Valor Unitario Total:</b>				<b>\$ 42.757</b>
<b>Vr. Unitario en SMMLV</b>				<b>0.066</b>

APU 4.1.5. Reforzamiento con PET reciclado (m<sup>2</sup>). Fuente: Adaptado de CYPE INGENIEROS S.A. Generador de Precios de la construcción. [En línea] 2015. Disponible en web: <<http://www.colombia.generadordeprecios.info>>.

## 4.2 Costo de reforzamiento con mallas

### Análisis de precios unitarios

#### APU 4.2.1.-REFORZAMIENTO CON MALLA ELECTRO-SOLDADA

U.M.: M2



Para el reforzamiento de 1 m<sup>2</sup>. Imagen 4.2-1. Reforzamiento con malla electro-soldada. Fuente: “Control de la trituración de los ladrillos huecos mediante malla Electro soldada en muros de albañilería confinada” [23] Cantidades de obra para el reforzamiento de un muro de ladrillo, de 2.40 x 2.40 m. X 0.13 m., con malla y pañete.

1 Materiales				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Arena lavada de peña	M3	\$ 75.000	0,05	\$ 3.750
Cemento Gris	KG	\$ 500	15,20	\$ 7.600
Grapa metálica	UN	\$ 120	18,00	\$ 2.160
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 1.000	2,75	\$ 2.750
Malla de Refuerzo H-084 y/o R-3,1 0.15 x 0.2	KG	\$ 2.608	2,87	\$ 7.485
				<b>\$ 23.745</b>
2 Equipos				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Andamio multidireccional 1.4 x 3.0	D	\$ 9.164	0,15	\$ 1.375
				<b>\$ 1.375</b>
3 Mano de Obra				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla de albañilería of. + ay.	Hora	\$ 18.780	1,24	\$ 23.287
				<b>\$ 23.287</b>
4 Transporte				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
				<b>\$ 0</b>
<b>Valor Unitario Total:</b>				<b>\$ 48.407</b>
<b>Vr. Unitario SMMLV</b>				<b>0.075</b>

APU 4.2.1. Reforzamiento con malla electro soldada (m<sup>2</sup>). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.



Análisis de precios unitarios

**APU 4.2.2.-REFORZAMIENTO CON MALLA DE POLÍMERO**

**U.M.: M2**



Para el reforzamiento de 1 m<sup>2</sup> de muro. Imagen 4.2-2. Reforzamiento con malla de polímero. Fuente: “*Refuerzo de muros y tabiques de albañilería con mallas de polímero*” [24]. Murete de ladrillo de 1.20 x 1.20 m. con espesor 0.13 m, con mallas de polímero y pañete de mortero de cemento portland gris y arena fina, en proporción 1:4, en ambos costados del muro.

<b>1 Materiales</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Acero figurado	Kg	\$1.933	1,26	\$ 2.436
Arena lavada de peña	M3	\$ 75.000	0,05	\$ 3.750
Cemento Gris	KG	\$ 500	15,20	\$ 7.600
Geo-malla biaxial	M2	\$ 5.206	2,10	\$ 10.933
Grapa metálica	UN	\$ 120	30,00	\$ 3.600
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 1.000	0,50	\$ 500
				<b>\$ 28.819</b>
<b>2 Equipos</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Andamio multidireccional 1.4 x 3	D	\$ 9.164	0,15	\$ 1.375
				<b>\$ 1.375</b>
<b>3 Mano de Obra</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla de albañilería oficial + ayudante	Hora	\$ 18.780	0,95	\$ 17.841
				<b>\$ 17.841</b>
<b>4 Transporte</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
				<b>\$ 0</b>
<b>Valor Unitario Total:</b>				<b>\$ 48.035</b>
<b>Vr. Unitario SMMLV</b>				<b>0.075</b>

APU 4.2.2. Reforzamiento con malla de polímero (m<sup>2</sup>). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.

Análisis de precios unitarios

**APU 4.2.3.-REFORZAMIENTO CON POLIMEROS PP-BAND**

**U.M.: M2**

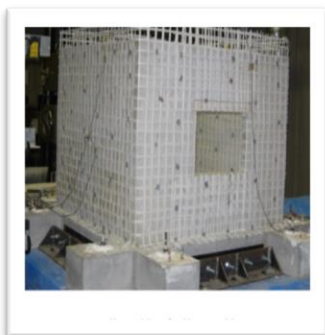


Imagen 4.2-3. Reforzamiento con polímeros PP-Band. Fuente: “Report on the state-of-the-art in the seismic retrofitting of unreinforced masonry houses by PP-Band meses” [25] Cantidades de obra para el reforzamiento de un muro de ladrillo de 1.00 x 1.00 m. con espesor 0.14 m, con bandas de polímero y pañete de cemento y arena fina, en ambos costados del muro.

<b>1 Materiales</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Arena lavada de peña	M3	\$ 75.000	0,05	\$ 3.750
Cemento Gris	KG	\$ 500	15,20	\$ 7.600
Grapa metálica	UN	\$ 120	18,00	\$ 2.160
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 1.000	3,75	\$ 3.750
Zuncho de polipropileno	ML	\$ 37	84,00	\$ 3.118
				<b>\$ 20.378</b>
<b>2 Equipos alquilados</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Andamio multidireccional 1.4 x 3	D	\$ 9.164	0,15	\$ 1.375
				<b>\$ 1.375</b>
<b>3 Mano de Obra</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla de albañilería oficial + ayudante	Hora	\$ 18.780	1,24	\$ 23.287
				<b>\$ 23.287</b>
<b>4 Transporte</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
				<b>\$ 0</b>
Valor Unitario Total:				<b>\$ 45.040</b>
<b>Vr. Unitario SMMLV</b>				<b>0.070</b>

APU 4.2.3. Reforzamiento con polímero PP Band (m<sup>2</sup>). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.

Análisis de precios unitarios**APU 4.2.4.-REFORZAMIENTO CON TEJIDO DE FIBRA DE VIDRIO****U.M.: M2**

Corresponde al reforzamiento de 1 m<sup>2</sup>, de un muro de ladrillo. Imagen 4.2-4. Reforzamiento con tejido de fibra de vidrio. Fuente: “*Estudio del sistema Mapewrap EQ System*” [26]. Reforzamiento de un murete de prueba de 1.28 x 1.28 m. con espesor 0.12 m, con tejido de fibra de vidrio en ambos lados del muro.

<b>1 Materiales</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Mapewrap EQ net	M2	\$ 22.131	2,00	\$ 44.263
Planitop 200	KG	\$ 4.610	0,74	\$ 3.411
Mapewrap EQ Adhesivo	KG	\$ 90.555	1,10	\$ 99.610
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 1.000	3,75	\$ 3.750
				<b>\$ 151.034</b>
<b>2 Equipos</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Andamio multidireccional 1.40 x 3.0	D	\$ 9.164	0,15	\$ 1.375
				<b>\$ 1.375</b>
<b>3 Mano de Obra</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla especializada	HC	\$ 22.536	2,44	\$ 54.988
				<b>\$ 54.988</b>
<b>4 Transporte</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
				<b>\$ 0</b>
<b>Valor Unitario Total:</b>				<b>\$ 207.396</b>
Vr. Unitario SMMLV				0.322

APU. 4.2.4. Reforzamiento con tejido de fibra de vidrio (m<sup>2</sup>). Fuente: Adaptado de CATALOGO GENERALE FEBRERO 2014 MAPEI. [En línea] 2015. Disponible en web: <<http://www.mapei.com/public/IT/banner/multimedia/febbraio%202014.pdf>>[<sup>39</sup>]y Mapei 20hinnakiri 202015.pdf.

## 4.3 Costo de reforzamiento con elementos metálicos

### Análisis de precios unitarios

#### APU 4.3.1.-REFORZAMIENTO CON CABLES

U.M.: M2



Imagen 4.3-1. Reforzamiento con cables. Fuente: "Seismic retrofitting of unreinforced masonry walls by cable system" [27]. Reforzamiento de un muro de ladrillo de 1 x 1 m. con espesor 0.13 m, reforzados con sistema de dos cables, fijados con placas metálicas, en las cuatro esquinas, formado una 'X'.

1 Materiales				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cable acero galv. 3/8"	MI	\$ 2.350	5,64	\$ 13.254
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 1.000	2,50	\$ 2.500
Perno roscado d= 3/8" mm x 6"	Un	\$ 100	16,00	\$ 1.600
Platina de 1/4" x 25 x 25 cm con 4 perforaciones	Un	\$ 7.205	4,00	\$ 28.820
Soldadura 7018 an 3/16"	KG	\$ 7.554	0,08	\$ 604
Tuerca y contratuerca de 3/8"	UN	\$ 500	16,00	\$ 8.000
				<b>\$ 54.778</b>

2 Equipos				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Equipo de soldadura	DIA	\$ 25.000	0,08	\$ 2.000
				<b>\$ 2.000</b>

3 Mano de Obra				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla especializada oficial + ayudante	Hora	\$ 22.536	0,65	\$ 14.648
				<b>\$ 14.648</b>

4 Transporte				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial

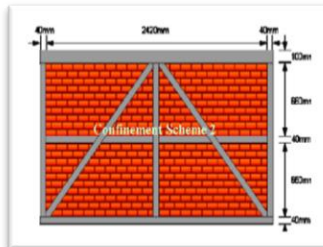
Valor Unitario Total:	<b>\$ 71.427</b>
Vr. Unitario SMMLV	0.111

APU 4.3.1. Reforzamiento con cables (m<sup>2</sup>). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.

Análisis de precios unitarios

**APU 4.3.2. REFORZAMIENTO CON PERFILES DE ACERO**

**U.M.: M2**



Para el reforzamiento de 1 m<sup>2</sup> de muro. Imagen 4.3-2. Reforzamiento con perfiles de acero. Fuente: “Confining Masonry Using Pre-Cast Rc Element For Enhanced Earthquake Resistance, Proceedings” [28]. Rreforzamiento de un muro de ladrillo de 2,5 m x 1,5 m, con canales metálicas de confinamiento.

<b>1 Materiales</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Perfil PHR 40x120 mm calibre 3 mm	MI	\$ 14.880	4,21	\$ 62.689
Perno roscado d= 3/8" mm x 6"	Un	\$ 100	3,45	\$ 345
Tuerca y contratuerca de 3/8"	UN	\$ 500	3,45	\$ 1.725
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 1.000	3,50	\$ 3.500
				<b>\$ 64.759</b>
<b>2 Equipos</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Andamio multidireccional 1.40 x 3.0	D	\$ 9.164	0,15	\$ 1.375
				<b>\$ 1.375</b>
<b>3 Mano de Obra</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla carpinteria oficial + ayudante	Hora	\$ 22.536	0,75	\$ 16.902
				<b>\$ 16.902</b>
<b>4 Transporte</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
				<b>\$ 0</b>
<b>Valor Unitario Total:</b>				<b>\$ 83,036</b>
Vr. Unitario SMMLV				0.129

APU 4.3.2. Reforzamiento con perfiles de acero (m<sup>2</sup>). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.

Análisis de precios unitarios**APU 4.3.3.-REFORZAMIENTO CON GRAPAS DE ACERO Y MALLA ELECTROSOLDADA U.M.: M2**

Para el reforzamiento de 1 m<sup>2</sup> de muro. Imagen 4.3-3 Reforzamiento con grapas de acero y malla electro soldada. Fuente “*Ensayos De Muros De Albañilería Armada Dañados y Reparados Sometidos A Carga Horizontal Dinámica*” [29] Reparación y reforzamiento de un muro de ladrillo de 2.52 m. de altura, 1.67 de longitud y 14 cm. de espesor afectado por sismo simulado, usando grapas de acero, mallas electro-soldadas y pañete.

<b>1 Materiales</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Acero figurado	Kg	\$1.933	3,25	\$ 6.283
Arena lavada de peña	M3	\$ 75.000	0,05	\$ 3.750
Broca 1/2" x 6", para muro	UN	\$ 5.900	0,02	\$ 89
Cemento Gris	KG	\$ 500	15,20	\$ 7.600
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 1.000	0,50	\$ 500
Ladrillo prensado	Un	\$ 720	5,00	\$ 3.600
Malla de Refuerzo H-084 y/o R-3,1 0.15 x 0.2	KG	\$ 2.608	2,87	\$ 7.485
				<b>\$ 29.307</b>
<b>2 Equipos</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Andamio multidireccional 1.40 x 3.0	D	\$ 9.164	0,15	\$ 1.375
Taladro	DIA	\$ 30.000	0,01	\$ 300
				<b>\$ 1.675</b>
<b>3 Mano de Obra</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla de albañilería of.l + ay.	Hora	\$ 18.780	1,08	\$ 20.282
				<b>\$ 20.282</b>
<b>Valor Unitario Total:</b>				<b>\$ 51.264</b>
Vr. Unitario SMMLV				0.080

APU 4.3.3. Reforzamiento con grapas de acero y malla electro soldada (m<sup>2</sup>). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.

Análisis de precios unitarios

**APU 4.3.4.-REFORZAMIENTO EXTERNO CON PERFILES DE ACERO U.M.: M2**



Para el reforzamiento de 1 m<sup>2</sup> de muro. Imagen 4.3-4. Reforzamiento externo con perfiles de acero. Fuente: “*Handbook of Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings FEMA 172*” [31]. Cantidades de obra para reparación y reforzamiento de un muro de ladrillo de 6 m. de altura, 6 de longitud y 13 cm. de espesor, usando perfiles tubulares de acero.

<b>1 Materiales</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Anticorrosivo Gris	GI	\$ 67.742	0,05	\$ 3.048
Broca 1/2" x 6", para muro	UN	\$ 5.900	0,02	\$ 118
Esm .sint. Brillante superlux	GI	\$ 50.750	0,12	\$ 6.090
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 1.000	5,90	\$ 5.900
Pernos exp. 3/8`` tipo Hilti 38HTM	UN	\$ 5.500	0,28	\$ 1.540
Soldadura de 1/8``	KG	\$ 6.000	0,03	\$ 150
Soporte en platina de acero tipo A-36 de 3/16`` x	UN	\$ 6.500	0,14	\$ 910
				<b>\$ 17.756</b>
<b>2 Equipos</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Andamio multidireccional 1.40 x 3.0	D	\$ 9.164	0,06	\$ 568
Equipo de soldadura	DIA	\$ 25.000	0,06	\$ 1.550
Taladro	DIA	\$ 30.000	0,03	\$ 900
tubular metálico de 70 x 45 x 2.5 mm, fy= 50.000 P	ML	\$ 16.516	1,13	\$ 18.663
				<b>\$ 21.681</b>
<b>3 Mano de Obra</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla carpinteria oficial + ayudante	Hora	\$ 22.536	0,50	\$ 11.268
				<b>\$ 11.268</b>
<b>Valor Unitario Total:</b>				<b>\$ 52.256</b>
Vr. Unitario SMMLV				<b>0,081</b>

APU 4.3.4. Reforzamiento externo con perfiles de acero (m<sup>2</sup>). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.

## 4.4 Costo de reforzamiento con el uso de concreto

### Análisis de precios unitarios

#### APU 4.4.1.-CONFINAMIENTO DE MUROSU.M.: M2



Para el reforzamiento de 1 m<sup>2</sup> de muro. Imagen 4.4-1. Confinamiento de muros. Fuente: "Arriostramiento de Parapetos Existentes Hechos de Albañilería Simple" [33]. Refuerzo de muretes de prueba con columnas de 12x12cm, ubicadas en sus bordes.

1

#### Materiales

Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
ACPM	GL	\$ 8.184	0,12	\$ 982
Broca 1/2" x 6", para muro	UN	\$ 5.900	0,02	\$ 118
Concreto corriente gravilla fina de 3000 psi	M3	\$ 350.784	0,02	\$ 8.419
Disco diamantado 7"	UN	\$ 74.900	0,02	\$ 1.273
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 1.000	0,50	\$ 500
Puntilla c/cabeza 2 1/2"	LB	\$ 2.400	0,40	\$ 960
Sikadur Anchorfix 4 300 cc	UN	\$ 48.720	0,08	\$ 3.898
Tabla chapa de 15 cms	ML	\$ 1.962	6,00	\$ 11.772
Varilla 3/8 x 6 MTS	MI	\$ 1.102	2,30	\$ 2.535

**\$ 30.456**

2

#### Equipos

Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Andamio multidireccional 1.40 x 3.0	D	\$ 9.164	0,25	\$ 2.291
Pulidora	DIA	\$ 17.400	0,09	\$ 1.566
Taladro	DIA	\$ 30.000	0,03	\$ 900

**\$ 4.757**

3

#### Mano de Obra

Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla de albañilería oficial + ayudante	Hora	\$ 18.780	1,65	\$ 30.987

**\$ 30.987**

<b>Valor Unitario Total:</b>	<b>\$ 66.200</b>
Vr. Unitario SMMLV	<b>0,103</b>

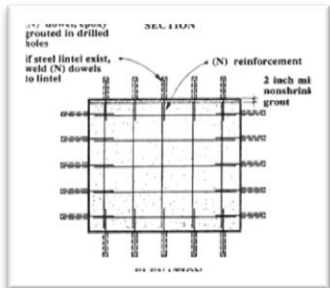
APU 4.4.1. Confinamiento de muros (m<sup>2</sup>). Elaboración propia. Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.



Análisis de precios unitarios

**APU 4.4.2.-RECALCE DE MUROS DE MAMPOSTERÍA**

**U.M.: M2**



Para el reforzamiento de 1 m<sup>2</sup> de muro. Figura 4.4-2. Recalce de muros de mampostería. Fuente: “*Handbook of Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings FEMA 172*” [31]. Cantidades de obra para reparación y reforzamiento de un muro de ladrillo de 2.40 m. de altura, 2 de longitud y 13 cm. de espesor, mediante recalce con concreto reforzado, incluye unión a la estructura aporticada de una edificación.

1		<b>Materiales</b>			
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial	
ACPM	GL	\$ 8.184	0,12	\$ 982	
Broca 1/2" x 6", para muro	UN	\$ 5.900	0,04	\$ 236	
Concreto fluido 3000 psi, gravilla fina	M3	\$ 350.784	0,04	\$ 14.031	
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 1.000	0,50	\$ 500	
Mortero fluido Sikagrout 212	KG	\$ 2.088	3,30	\$ 6.890	
Sikadur Anchorfix 4 300 cc	UN	\$ 48.720	0,20	\$ 9.744	
Tabla chapa de 15 cms	ML	\$ 1.962	7,00	\$ 13.734	
Varilla 3/8 x 6 MTS	MI	\$ 1.102	1,50	\$ 1.653	
					<b>\$ 47.771</b>
2		<b>Equipos</b>			
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial	
Taladro	DIA	\$ 30.000	0,06	\$ 1.800	
					<b>\$ 1.800</b>
3		<b>Mano de Obra</b>			
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial	
Cuadrilla de albañilería oficial + ayudante	Hora	\$ 18.780	0,95	\$ 17.841	
					<b>\$ 17.841</b>
4		<b>Transporte</b>			
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial	
					<b>\$ 0</b>
<b>Valor Unitario Total:</b>				<b>\$ 67.412</b>	
Vr. Unitario SMMLV				<b>0,105</b>	

APU. 4.4.2. Recalce de muros de mampostería (m<sup>2</sup>). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.

## 4.5 Costo de reparación de grietas

### Análisis de precios unitarios

#### APU 4.5.1.-INYECCIÓN DE MORTERO GROUTING

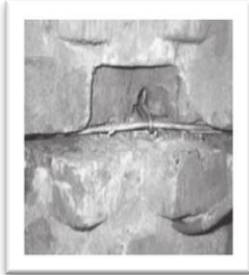
U.M.: M2



Para el reforzamiento de 1 m<sup>2</sup> de muro. Imagen 4.5-1. Inyección de mortero grouting. Fuente: "Injection Grouting For Repair of Masonry Research to practices" [34]. Aplicado en muros de prueba, de 1.50 m. de altura, 1.80 de longitud, se llevaron al colapso, previamente en las grietas se inyectaron mortero fluido de cemento.

1				
Materiales				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Boquilla inyección p/ equipo mortero fluido	UN	\$ 899	4,62	\$ 4.156
Broca 1/2" x 6", para muro	UN	\$ 5.900	0,04	\$ 236
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 1.000	1,30	\$ 1.300
Mortero fluido SikagROUT 212	KG	\$ 2.088	12,12	\$ 25.307
				<b>\$ 30.999</b>
2				
Equipos				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Equipo inyección manual p/ mortero fluido y resina	HORA	\$ 3.064	0,45	\$ 3.463
Taladro	DIA	\$ 30.000	0,06	\$ 1.680
				<b>\$ 5.143</b>
3				
Mano de Obra				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla especializada oficial + ayudante	Hora	\$ 22.536	1,13	\$ 25.466
				<b>\$ 25.466</b>
4				
Transporte				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
				<b>\$ 0</b>
<b>Valor Unitario Total:</b>				<b>\$ 61.607</b>
Vr. Unitario SMMLV				<b>0,096</b>

APU. 4.5.1. Inyección de mortero grouting (m<sup>2</sup>). Adaptado de REVISTA CONSTRUDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015; y CYPE INGENIEROS S.A. Generador de Precios de la construcción. [En línea] 2015. Disponible en web: <[http://www.colombia.generadordeprecios.info/rehabilitacion/Estructuras/Mamposteria/Reparaciones/EFY020\\_Reparacion\\_de\\_grieta\\_en\\_estructura\\_.html](http://www.colombia.generadordeprecios.info/rehabilitacion/Estructuras/Mamposteria/Reparaciones/EFY020_Reparacion_de_grieta_en_estructura_.html)>.

Análisis de precios unitarios**APU 4.5.2.-GROUT Y EPOXI INYECCIONES****U.M.: M2**

Reforzamiento de 1 m<sup>2</sup> de muro de ladrillo. Imagen 4.5-2. Grout y epoxi inyecciones. Fuente: “Injection Grouting For Repair of Masonry Research to practices” [34] muretes de prueba, con dimensiones de 1100 x 500 x 250 mm. reforzados con 2 barras de acero de 6 mm, cada tres juntas horizontales – de 10 a 15 mm – y mortero de cal hidráulica y de resinas sintéticas.

<b>1 Materiales</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Alambre galvanizado no.12	Kg	\$ 3.436	0,04	\$ 144
Boquilla inyección p/ equipo mortero fluido	UN	\$ 899	4,62	\$ 4.156
Broca 1/2" x 6", para muro	UN	\$ 5.900	0,04	\$ 236
Herramienta y equipo menor	GLB	\$ 1.000	1,30	\$ 1.300
Mortero de resina Epoxí con arena de silice y cal	KG	\$ 9.181	3,50	\$ 32.134
Varilla 3/8 x 6 MTS	MI	\$ 1.102	3,33	\$ 3.670
				<b>\$ 41.640</b>
<b>2 Equipos</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Alambre galvanizado no.12	Kg	\$ 3.436	0,04	\$ 144
Equipo inyección manual p/ mortero fluido y resina	HORA	\$ 3.064	1,13	\$ 3.463
				<b>\$ 3.607</b>
<b>3 Mano de Obra</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
Cuadrilla especializada oficial + ayudante	Hora	\$ 22.536	1,13	\$ 25.533
				<b>\$ 25.533</b>
<b>4 Transporte</b>				
Nombre	U.M	Vr.Unitario	Cantidad	Vr.Parcial
				<b>\$ 0</b>
<b>Valor Unitario Total:</b>				<b>\$ 70.780</b>
Vr. Unitario SMMLV				<b>0,110</b>

APU. 4.5.2. Grout y epoxi inyecciones (m<sup>2</sup>). Fuente: Adaptado de REVISTA CONSTRUDATA. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015; y CYPE INGENIEROS S.A. Generador de Precios de la construcción. [En línea] 2015. Disponible en web: <[http://www.colombia.generadordeprecios.info/rehabilitacion/Estructuras/Mamposteria/Reparaciones/EFY020\\_Reparacion\\_de\\_grieta\\_en\\_estructura\\_.html](http://www.colombia.generadordeprecios.info/rehabilitacion/Estructuras/Mamposteria/Reparaciones/EFY020_Reparacion_de_grieta_en_estructura_.html)>.

## 4.6 Comparativo de costo de las técnicas de reforzamiento estudiadas

Basados en los análisis de precios unitarios de los diferentes sistemas de reforzamiento que se presentan en el presente capítulo, se estableció un cuadro comparativo de costos, expresados en pesos colombianos del año 2015.

Los costos también están expresados en salarios mínimos mensuales legales vigentes en Colombia (SMMLV). Para esto se tomaron los precios unitarios de los sistemas de reforzamiento y se dividieron por el valor de \$644,350, correspondiente al valor del salario mínimo para el año 2015. La actualización de costos, para años subsiguientes, se podrá hacer multiplicando esta cifra por el valor del salario mínimo, que este vigente, para entonces.

Se encontró que los sistemas de reforzamiento; con platinas de acero, con listones de madera o con láminas de PET, reciclado, son más económicos, que la mampostería parcialmente reforzada y mampostería confinada; sistemas incluidos en el Reglamento NRS-10. También son más económicos, los reforzamientos a partir del uso de malla electro-soldada y pañete, de malla de polímeros y pañete o el de arriostamiento externo con perfiles de acero. Todos estos sistemas son mucho más económicos que demoler las mamposterías antiguas y reemplazarlas por mamposterías nuevas

Las investigaciones citadas muestran que los sistemas de reforzamiento, referenciados en el capítulo tercero, son tan eficientes como la mampostería parcialmente reforzada o la mampostería confinada con columnetas de concreto. Varios de ellos son más económicos, por lo cual se justifica continuar trabajando en el desarrollo e implementación de estos sistemas de Reforzamiento

El comparativo, en pesos Colombianos del año 2015 y salarios mínimos mensuales legales vigentes en Colombia (SMMLV) está contenido en la Tabla 4.6.1. Comparativo de costos de los sistemas de reforzamiento

TECNICAS DE REFORZAMIENTO DE MAMPOSTERIA		COSTO DE REFORZAMIENTO	COSTO EN SMMLV
REFORZAMIENTO CON ELEMENTOS LAMINARES	FIBRAS DE CARBONO CON MATRIX DE RESINA DE POLIMEROS (FCRP)	\$ 173.559	0,269
	VARILLAS FIBRA DE VIDRIO	\$ 87.017	0,135
	PLATINAS O CORREAS DE ACERO	\$ 43.683	0,068
	LAMINAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) RECICLADO	\$ 42.757	0,066
	LISTONES DE MADERA	\$ 43.249	0,067
REFORZAMIENTO O CON MALLAS	MALLAS ELECTROSOLDADAS Y CON PAÑETE 1:4	\$ 48.407	0,075
	MALLAS DE POLIMERO Y PAÑETE	\$ 48.035	0,075
	POLIMEROS - PP BAND Y PAÑETE	\$ 45.040	0,070
	3.2.4 TEJIDO BIDIRECCIONAL DE FIBRA DE VIDRIO	\$ 207.396	0,322
REFORZAMIENTO O CON ELEMENTOS	CABLES DE ACERO	\$ 71.427	0,111
	PERFILES DE ACERO ESTRUCTURAL	\$ 83.036	0,129
	GRAPAS DE ACERO Y MALLAS	\$ 51.264	0,080
	ARRIOSTRAMIENTO EXTERNO CON PERFILES DE ACERO	\$ 52.256	0,081
CONCRETO REFORZADO	MAMPOSTERÍA CONFINADA CON ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS	\$ 66.200	0,103
	CONFINAMIENTO DE MUROS DE ANTEPECHO, CON ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS	\$ 66.200	0,103
	RECALCE DE MAMPOSTERÍA CON CONCRETO REFORZADO	\$ 67.412	0,105
REPARACIÓN DE GRIETAS	INYECCIÓN DE MORTERO FLUIDO DE CEMENTO (GROUTING)	\$ 61.607	0,096
	GROUT Y EPOXI INYECCIONES	\$ 70.780	0,110
	INYECCIÓN DE MORTERO FLUIDO DE CEMENTO Y BARRAS DE ACERO	\$ 60.762	0,094
	MAMPOSTERIA PARCIALMENTE REFORZADA	\$ 52.502	0,081
	MAMPOSTERÍA DE MUROS CONFINADOS	\$ 65.601	0,102

Tabla 4.6.1. Comparativo de costos, por metro cuadrado, de reforzamiento Fuente: Elaboración propia

## 4.7 Comparación entre las técnicas de reforzamiento

Dado que las matrices permiten visualizar fácilmente el grado de relación de diversos factores y que son útiles para comparar sistemas, priorizar recursos y procesos técnicos; cuando existe gran cantidad de información disponible; se escogió este método para comparar los sistemas de reforzamiento, descritos en el capítulo 3. También se relacionó, el comparativo de costos, expresados en pesos colombianos del año 2015 y en SMMLV, incluido en el numeral 4.6, del presente documento.

Para visualizar fácilmente los grados de relación, de fuerte a inexistente se definió el uso de los números, que se muestran en la tabla 4.7.1.

RELACION FUERTE	4
RELACION FUERTE	3
RELACION MEDIA	2
RELACION DEBIL	1
NO HAY RELACIÓN	0

Tabla 4.7.0. Símbolos usados en las matrices de relación Fuente: Elaboración propia

Luego de ser descritos y analizados los aspectos técnicos y económicos de estos sistemas de reforzamiento para fachadas, se elaboró una matriz de relaciones, la cual muestra el grado de intensidad en la relación de estas técnicas, con sus propiedades funcionales de eficiencia estructural, de costos, de facilidad de construcción y aspectos normativos.

La matriz puede ser consultada en la tabla 4.7.6, hace un promedio numérico para cada una de las técnicas de reforzamiento y ésta facilita la toma de decisiones, en la escogencia de un método de reforzamiento, o la combinación de varios de ellos, de acuerdo a las condiciones de la edificación objeto de rehabilitación.

### 4.7.1 , Relación de Desempeño de los Sistemas de Reforzamiento

En las investigaciones citadas en el capítulo 3 se muestran los comparativos de resistencia a cargas laterales cíclicas de los muros de mampostería sin refuerzo y de muros similares, reforzados. Los resultados de las pruebas permiten medir el aumento de resistencia y la eficiencia de estos sistemas para hacer frente a los eventuales sismos. En concordancia con el aumento en la resistencia, se definieron los grados de relación y los numeros que se muestran a continuación:

RELACION MUY FUERTE: luego del reforzamiento se logró el aumentó la resistencia inicial del murete, al doble o más.	4
RELACION FUERTE: luego del reforzamiento se logró el aumentó la resistencia inicial del murete, a una vez y media	3
RELACION MEDIA: luego del reforzamiento se logró el aumentó la resistencia inicial del murete, a menos del doble.	2
RELACION DEBIL: luego del reforzamiento aumentó muy poco la resistencia inicial.	1
NO HAY RELACIÓN: luego del reforzamiento NO se logró aumentó la resistencia inicial del murete	0

Tabla 4.7.1.1. Relación con el aumento de resistencia a cargas laterales Fuente: Elaboración propia

Los autores de las investigaciones han descrito los daños sufridos por los muros de prueba, luego de los ensayos de carga a que fueron sometidos. Con esta información, se definieron los grados de relación de los sistemas de reforzamiento, con la integridad estructural y los numeros que se muestran a continuación:

RELACION FUERTE: después de los ensayos, los muretes de prueba no presentaron ningún daño..	4
RELACION FUERTE: después de los ensayos, los muretes de prueba presentaron algunas fisuras muy leves.	3
RELACION MEDIA: después de los ensayos, se presentaron fisuras definidas en los muretes de prueba.	2
RELACION DEBIL: después de los ensayos, se presentaron roturas sin desprendimientos, en los muretes.	1
NO HAY RELACIÓN: después de los ensayos, se presentaron desprendimientos en los muretes de prueba.	0

Tabla 4.7.1.2. Relación con la integridad estructural del sistema Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, se consideró el aporte en carga al sistema de estructural de la edificación, con la estimación del peso de los elementos usados para el refuerzo de los muros. A continuación se muestran los números usados, en relación a su clasificación como sistemas constructivos pesados o livianos:

RELACION MUY FUERTE: Los materiales de reforzamiento generan una carga mucho menor ala del muro original.	4
RELACION FUERTE:.. Los materiales de reforzamiento generan una carga mucho menor a la del muro original.	3
RELACION MEDIA: Los materiales de reforzamiento generan una carga similar o menor a la del muro original	2
RELACION DEBIL: Los materiales de reforzamiento generan una carga adicional, mayor a la del muro original.	1
NO HAY RELACIÓN: No aplica para este caso.	0

Tabla 4.7.1.3. Relación al aporte en carga a la estructura. Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.2 Relación de costos de los Sistemas de Reforzamiento

Luego de haber investigado y comparado los costos de los sistemas de reforzamiento, mencionados en el capítulo tercero, en pesos colombianos del año 2015 y en SMMLV. (en el numeral 4.6, del presente documento), se definieron los grados de relación de los sistemas de reforzamiento con sus costos, para lo cual se definieron los números que se muestran a continuación:

RELACION MUY FUERTE: en los casos en los cuales los costos son mayores al doble con relación al del sistema de mampostería confinada..	4
RELACION FUERTE: en los casos en los cuales los costos son mayores, en comparación con los del sistema de mampostería confinada..	3
RELACION MEDIA: en los casos en los cuales los costos son similares a los del sistema de mampostería confinada.	2
RELACION DEBIL: en los casos en los cuales los costos son menores a los del sistema de mampostería confinada...	1
NO HAY RELACIÓN: No aplica para este caso.	0

Tabla 4.7.2. Relación de costos con los sistemas de reforzamiento Fuente: Elaboración propia



### 4.7.3 Relación con la Normativa Colombiana

Luego de haber investigado si los sistemas de reforzamiento, mencionados en el capítulo tercero, están reglamentados en la NSR-10, se definieron los grados de relación así:

RELACION MUY FUERTE: el sistema de reforzamiento están reglamentado, como tal, en la NSR-10	4
RELACION FUERTE: el material de reforzamiento está reglamentado, como material estructural en la NSR-10	3
RELACION MEDIA: En los casos en los cuales existe alguna referencia en el reglamento NSR-10	2
RELACION DEBIL: en los casos en los cuales no existe ninguna referencia en el Reglamento NSR-10	1
NO HAY RELACIÓN: No aplica para este caso.	0

Tabla 4.7.3. Relación de los sistemas de reforzamiento con la Normativa. Fuente: Elaboración propia

### 4.7.4 Relación de Dificultad técnica de Construcción

En algunas de las investigaciones citadas en el capítulo 3, se hace mención al grado de calificación del personal de obra, que elabora el reforzamiento. En las que no se hace referencia a este factor, se indagó sobre el personal de obra que se suele usar en técnicas constructivas similares. Teniendo en cuenta esta información, se definieron los grados de relación de los sistemas de reforzamiento, con la dificultad técnica, según se muestran a continuación:

RELACION MUY FUERTE: el sistema de reforzamiento requiere de mano de obra poco calificada	4
RELACION FUERTE: el sistema de reforzamiento requiere de mano de obra calificada	3
RELACION MEDIA: el sistema de reforzamiento requiere de mano de obra muy calificada	2
RELACION DEBIL: el sistema de reforzamiento requiere de mano de obra especializada	1
NO HAY RELACIÓN: No aplica para este caso.	0

Tabla 4.7.4.1 Relación de los sistemas de reforzamiento con la calificación del personal de obra. Fuente:

Elaboración propia

El otro factor a considerar es el grado de supervisión recomendado por los autores de las investigaciones citadas en el capítulo 3 y el grado de calificación del supervisor técnico. En las que no se hace referencia a este factor, se indagó sobre la pericia que tienen los supervisores de obra, en el desarrollo de técnicas constructivas similares. Teniendo en cuenta esta información, se definieron los grados de relación así:

RELACION MUY FUERTE: el sistema de reforzamiento requiere de supervisión técnica poco constante	4
RELACION FUERTE: el sistema de reforzamiento requiere de supervisión técnica constante	3
RELACION MEDIA: el sistema de reforzamiento requiere de supervisión técnica muy constante	2
RELACION DEBIL: el sistema de reforzamiento requiere de supervisión técnica de un especialista	1
NO HAY RELACIÓN: No aplica para este caso.	0

Tabla 4.7.4.2 Relación de los sistemas de reforzamiento con la el grado de supervisión requerido. Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.5 Relación de posibilidades de Intervención

Las investigaciones señalan como los sistemas de reforzamiento se deben colocar en ambos costados de los muros, o si es posible intervenir un solo costado de los muros de fachada. Este factor influye cuando se tienen restricciones para intervenir uno de los costados del muro, por lo que se definieron los grados de relación de los sistemas de reforzamiento, según se muestran a continuación:

RELACION MUY FUERTE: el sistema de reforzamiento se puede colocar al interior del muro	4
RELACION FUERTE: el sistema de reforzamiento se puede colocar en uno de los costados del muro indicado	3
RELACION MEDIA: es recomendable colocar el sistema de reforzamiento en ambos costados del muro.	2
RELACION DEBIL: es obligatorio colocar el sistema de reforzamiento en ambos costados del muro	1
NO HAY RELACIÓN: No aplica para este caso.	0

Tabla 4.7.5. Relación de los sistemas de reforzamiento con las posibilidades de intervención. Fuente: Elaboración propia

### 4.7.6 Matriz de relaciones

El comparativo de diversos aspectos de los sistemas de reforzamiento se tabulo en una matriz de relaciones, según los parámetros definidos en los numerales anteriores

MATRIZ DE RELACIONES			DESEMPEÑO ELEMENTO NO ESTRUCTURAL			NIVEL DE COSTO	NORMATIVOS	DIFICULTAD TÉCNICA		POSIBILIDAD DE INTERVENCIÓN			PROMEDIO
CLASIFICACIÓN	IMAGEN	RESISTENCIA A CARGAS LATERALES	INTEGRIDAD DEL SISTEMA	APORTE DE CARGA PARA LA ESTRUCTURA	ALTO COSTO	APLICABILIDAD - REGLAMENTO NSR-10	REQUERIMIENTO DE MANO DE OBRA	GRADO DE SUPERVISIÓN	INTERIOR DE LA FACHADA	EXTERIOR DE LA FACHADA	AMBOS COSTADOS		
REFORZAMIENTO CON ELEMENTOS LAMINARES	FIBRAS DE CARBONO CON MATRIX DE RESINA DE POLIMEROS (FCRP)		4	2	4	4	1	1	1	3	2	2	2,40
	FIBRA DE VIDRIO		3	2	4	3	1	1	1			1	2,00
	CORREAS DE ACERO - CORREAS PLASTICAS		3	3	4	1	3	2	2			1	2,38
	LAMINAS DE TEREFALATO DE POLIETILENO (PET) RECICLADO		1	1	4	1	1	1	1			1	1,38
	MADERA		2	3	3	1	3	3	3			1	2,38
REFORZAMIENTO CON MALLAS	MALLAS ELECTRO SOLDADAS Y CON PAÑETE (MORTERO 1:4)		3	3	3	1	4	4	3	3	2	2	2,80
	MALLAS DE POLIMERO		3	3	3	1	1	3	3			1	2,25
	POLIMEROS - PP BAND		2	3	3	1	1	2	2			1	1,88
	3.2.4 TEJIDO BIDIRECCIONAL DE FIBRA DE VIDRIO		3	2	4	4	1	1	1			1	2,13
REFORZAMIENTO CON ELEMENTOS METÁLICOS	CABLES DE ACERO		3	3	2	3	3	2	2	4	4	4	3,00
	PLATINAS DE ACERO		3	3	2	3	3	3	3			1	2,63
	GRAPAS DE ACERO Y MALLAS		3	3	3	1	4	4	4	3	2	2	2,90
	ARRIOSTRAMIENTO EXTERNO CON PERFILES DE ACERO		3	3	2	2	3	1	1		4		2,38
CONCRETO REFORZADO	MAMPOSTERÍA CONFINADA CON ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS		3	3	2	3	4	3	2			1	2,63
	CONFINAMIENTO DE MUROS DE ANTEPECHO, CON ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS		3	3	2	3	4	3	2			1	2,63
	RECALCE DE MAMPOSTERÍA CON CONCRETO REFORZADO		3	3	1	3	3	3	2	3	3	1	2,50
REPARACIÓN DE GREJAS	INYECCIÓN DE MORTERO FLUIDO DE CEMENTO (GROUTING)		2	2	4	2	1	1	1	4	4	4	2,50
	GROUT Y EPOXI INYECCIONES		2	2	4	3	1	1	1	4	4	4	2,60
	INYECCIÓN DE MORTERO FLUIDO DE CEMENTO Y BARRAS DE ACERO		1	1	4	2	1	2	2			1	1,75
MAMPOSTERÍA PARCIALMENTE REFORZADA		3	3	3	2	4	2	2	4	4		3,00	
MAMPOSTERÍA DE MUROS CONFINADOS		3	3	2	3	4	2	2			1	2,50	

Tabla 4.7.6.1. Matriz de relación de los sistemas de reforzamiento, con sus propiedades de desempeño, nivel de costo, aspectos normativos, dificultad técnica y posibilidad de intervención. Fuente: Elaboración propia

También se consideró importante evaluar si los sistemas de reforzamiento también sirven para ayudar a corregir algunas de las patologías de los muros de fachada, detectadas con el estudio de casos, que están descritas en las fichas de patología del capítulo 5. Se elaboró una segunda matriz de las técnicas de reforzamiento y su grado de relación con la corrección de estas patologías. La matriz se incluyó en la tabla 4.6.3. Allí se hace evidente que solo algunas de las técnicas de reforzamiento, también sirven para solucionar las patologías que se han identificado:

- Reparación de muros afectados por sismo
- Expansión restringida
- Roturas y desprendimientos
- Fisuras definidas
- Fisuras múltiples
- Eflorescencias por humedad

Se definieron los grados de relación de los sistemas de reforzamiento, con la corrección y/o prevención de patologías según se muestran a continuación:

RELACION MUY FUERTE: el sistema de reforzamiento corrige la patología indicada	4
RELACION FUERTE: el sistema de reforzamiento contribuye en gran medida a la corrección y/o prevención de la patología indicada	3
RELACION MEDIA: el sistema de reforzamiento puede contribuir a la corrección y/o prevención de la patología indicada	2
RELACION DÉBIL: el sistema de reforzamiento contribuye poco a la corrección y/o prevención de la patología indicada	1
NO HAY RELACIÓN: el sistema de reforzamiento no contribuye a la corrección y/o prevención de la patología indicada	0

Tabla 4.7.6.2. Relación de los sistemas de reforzamiento con la corrección de patologías en muros de fachada. Fuente: Elaboración propia

Se espera que la información contenida en las matrices de relación se pueda usar, para facilitar la toma de decisiones, en futuros procesos de reforzamiento de muros de fachada.

MATRIZ DE RELACIONES			REPARACION DE PATOLOGIAS					CLIFICACIÓN PROMEDIO	
CLASIFICACIÓN	IMAGEN	REPARACION DE MUROS AFEC. POR SISMO	EXPANSION RESTRINGIDA	ROTURAS Y DESPRENDIMIENTO	FISURAS DEFINIDAS	FISURAS MULTIPLES	HUMEDADES		
REFORZAMIENTO CON ELEMENTOS LAMINARES	FIBRAS DE CARBONO CON MATRIX DE RESINA DE POLIMEROS (FCRP)		3	3	2	3	1	2,40	
	FIBRA DE VIDRIO		2	3	2	3	1	2,20	
	CORREAS DE ACERO - CORREAS PLASTICAS		1	3	2	1	1	1,60	
	LAMINAS DE TEREFALATO DE POLIETILENO (PET) RECICLADO		1	1	1	1	1	1,00	
	MADERA		1	2	1	1	1	1,20	
REFORZAMIENTO CON MALLAS	MALLAS ELECTRO SOLDADAS Y CON PANETE (MORTERO 1:4)		4	2	3	3	3	3,00	
	MALLAS DE POLIMERO		1	2	3	3	3	2,50	
	POLIMEROS - PP BAND		1	2	1	1	2	3	1,67
	3.2.4 TEJIDO BIDIRECCIONAL DE FIBRA DE VIDRIO		1	2	1	1	2	3	1,67
REFORZAMIENTO CON ELEMENTOS METALICOS	CABLES DE ACERO		1						1,00
	PLATINAS DE ACERO		1	4		1	1		1,75
	GRAPAS DE ACERO Y MALLAS		4	2	3	3	3	2	2,83
	ARRIOSTRAMIENTO EXTERNO CON PERFILES DE ACERO		1						1,00
CONCRETO REFORZADO	MAMPOSTERÍA CONFINADA CON ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS					1			2,00
	CONFINAMIENTO DE MUROS DE ANTEPECHO, CON ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS		1						1,00
	RECALCE DE MAMPOSTERÍA CON CONCRETO REFORZADO		3	2	3	3	3		2,80
REPARACIÓN DE GRIETAS	INYECCIÓN DE MORTERO FLUIDO DE CEMENTO (GROUTING)		3		3	3	1		2,50
	GROUT Y EPOXI INYECCIONES		3		3	3	1		2,50
	INYECCIÓN DE MORTERO FLUIDO DE CEMENTO Y BARRAS DE ACERO		2		3	3	1		2,25
	MAMPOSTERIA PARCIALMENTE REFORZADA								
	MAMPOSTERÍA DE MUROS CONFINADOS								

Tabla 4.7.6.3. Matriz de relación de los sistemas de reforzamiento con resolución de patologías de las fachadas Fuente: Elaboración propia.



## 5. ESTUDIO DE CASOS: REHABILITACIÓN DE FACHADAS

En concordancia con los objetivos generales de la investigación, se buscaron casos de intervención en edificaciones fundamentales para la sociedad, cuyo desempeño esperado se pueda catalogar como superior; es decir, que los elementos no estructurales sufran daño mínimo luego de la ocurrencia del sismo de grado menor, con respecto al cual fue diseñado, de tal manera que no se afecte la operación de la edificación.

Se escogió la metodología del estudio de casos para indagar la manera de solucionar la condición de vulnerabilidad frente al fenómeno sísmico, en que se encuentran estas edificaciones. Se eligieron y estudiaron varios procesos de reforzamiento de fachadas, con el objetivo de comprender las particularidades técnicas, de cada caso, en el intento de conocer cómo se aplicaron, en la práctica, varias técnicas de reforzamiento, descritas en el capítulo tercero de la presente investigación. Para la elección de los casos de estudio, se establecieron los siguientes criterios:

- Que la envolvente de la edificación haya sido objeto de rehabilitación sísmica según los lineamientos dados el capítulo A.10.9 del Reglamento NSR-10, en donde se indica *“Si la edificación perteneciente a los grupos de uso III o IV ya fue intervenida durante la vigencia del Reglamento NSR-98 para cumplir con él y si se mantiene el mismo grupo de uso, no requiere obligatoriamente ser intervenida de nuevo para los requerimientos del presente Reglamento”* [2].
- Que la edificación corresponda a la tipología de fachadas de mampostería de arcilla acoplada a estructuras de concreto
- Que cuente con facilidades para hacer seguimiento al comportamiento de las fachas, frente a sismos ocurridos luego de la rehabilitación, para identificar eventuales fallas, nuevas patologías y el estado actual conservación.

La información fue facilitada por los diseñadores constructores o interventores, que participaron en los procesos de reforzamientos y fue consignada en fichas, especialmente diseñadas. En las fichas se recoge la información más relevante, respecto a descripción de la edificación y sus fachadas; materiales constitutivos, patologías, sistema de reparación, duración de la intervención, costos, estado actual y demás aspectos relacionados con el reforzamiento y desempeño de los mismos, durante los eventos sísmicos recientes.

Esta metodología ha permitido recopilar y documentar experiencias derivadas de la aplicación de los sistemas de rehabilitación de mamposterías de fachada y de la fijación de elementos no estructurales. También ha facilitado adelantar las siguientes tareas que se señalan a continuación:

- Estudiar los métodos de reparación implementados por los especialistas
- Evaluar la eficiencia de los diversos métodos empleados en el reforzamiento y rehabilitación.
- Recopilar información sobre materiales, equipos, rendimientos de obra, de estos métodos de reforzamiento y rehabilitación. Esto permitió comparar los costos de las diferentes técnicas alternativas.
- Establecer la facilidad de construcción y las precauciones que se deben tomar durante los procesos de rehabilitación.
- Establecer comparativos entre los diversos sistemas.
- Hacer seguimiento al comportamiento desempeño de las fachadas, durante los eventos sísmicos posteriores a su intervención y verificar el estado de conservación de las fachadas.
- Identificar patologías en los elementos no estructurales y establecer sus causas.
- Verificar si las patologías de fachadas, se corrigieron, con la intervención.
- Producir conclusiones y recomendaciones que sirvan de referencia, cuando se adelanten nuevos procesos de rehabilitación y nos ayuden a mejorar nuestras prácticas constructivas.



## 5.1 Caso 1 - Fachada edificio de la caja de empleados de la Policía Nacional

Se trata de una edificación representativa de la arquitectura moderna Colombiana, diseñada para apartamentos de vivienda, para los empleados de la Policía Nacional, la cual objeto de un concurso arquitectónico ganado por los arquitectos Fernando Martínez Sanabria, Rogelio Salmona, Guillermo Avendaño y Gonzalo Vidal.

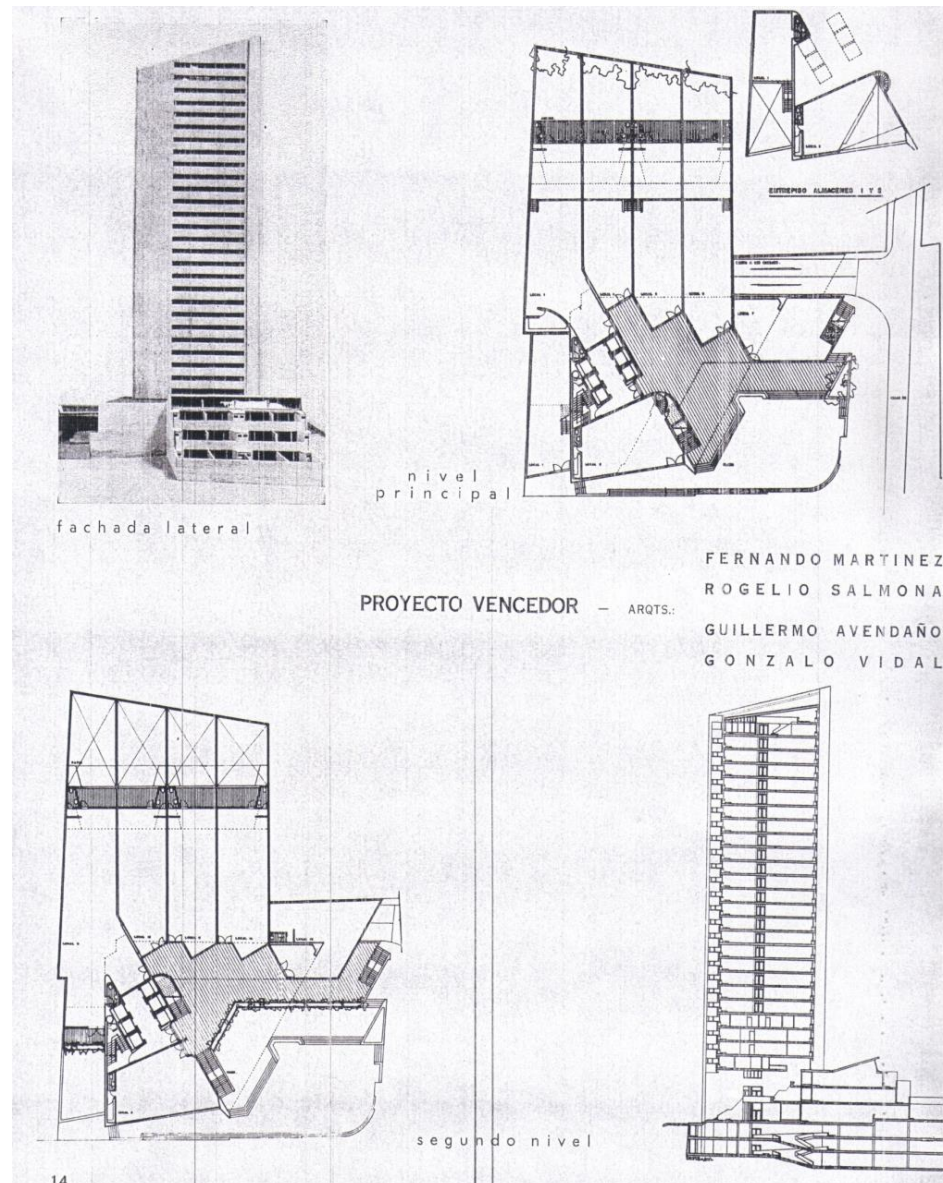


Figura 5.1-1: Plano de la fachada lateral Figura 5.1-2. Planta de nivel principal. Figura 5.1-3 planta del segundo nivel Figura 5.1-4. corte del proyecto ganador del concurso, Fondo de Empleados PONAL. Fuente: REVISTA PROA. Compendio de publicaciones. Bogotá, D.C.: Proa, 1963.

La torre fue construida entre los años de 1963 y 1964. La escogencia del material de enchape de fachada fue objeto de controversia, en su momento. El Arq. Fernando Martínez, en una entrevista, explicó las razones para la escogencia del material de fachada, así: *“La sobriedad o austeridad de la torre se debe a que es una forma sencilla y trabajada físicamente con un solo material. Es un material arcilloso, esto ha sido muy discutido y criticado. Es muy curioso que así sea puesto que es el material básico de esta región donde estamos trabajando. Para que una obra arquitectónica esté pensada de acuerdo al lugar mismo en que se va a edificar, es importante trabajar con sus propios materiales que responden mejor al medio en que se encuentra la obra misma. Por ejemplo, las zonas de la cordillera que encierran la sabana, son tierras arcillosas en donde inclusive en algunos puntos había florecientes industrias de chircales. De aquí cuando miramos en pleno sol esas montañas verdes, tienen dentro de ese mismo verde ciertas tonalidades rojizas, por esas razones y buscando que la torre parte del medio natural en que se edifica, se buscó un ladrillo de arcilla de tonalidad rojo oscuro. Cuando miramos la torre desde lejos con los cerros al fondo, vemos que se va identificando con el paisaje natural hasta integrarse en el total”* [40].

En otro aparte de la entrevista hace una reflexión sobre las bondades de construir fachadas con arcilla cocida: *“Cuando se utilizan materiales que están en el lugar por un fenómeno natural de supervivencia, envejecen noblemente, es decir, resisten y mejoran con el tiempo. En Bogotá tenemos por ejemplo, casas hechas desde hace muchos años en ladrillo de arcilla y hoy están en extraordinarias condiciones. No sucede lo mismo con algunas obras en que se usó piedra, porque la piedra nuestra es blanda y el tiempo la afea y la mancha. El concreto al exterior, usando nuestros agregados relativamente pobres, no resiste la influencia del tiempo. Los materiales industriales a medida que van pasando los años se van destruyendo, ya sea que sus juntas se manchen o se rompan requiriendo un mantenimiento muy costoso para regular supervivencia”* [40].

Con el tiempo, se presentaron desprendimientos de tabletas de enchape de la fachada, lo cual significó un grave peligro para los transeúntes, por lo que se debió implementar un reforzamiento de fachada. Las fichas de estudio detallan el sistema de reforzamiento diseñado por el ingeniero Luis Guillermo Aycardi, de la firma Proyectistas civiles asociados PCA.

### 5.1.1 Ficha de datos básicos del caso de estudio



REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE FACHADAS DE MAMPOSTERIA,  
CONSTRUIDAS EN COLOMBIA, ANTES DE LA EXPEDICIÓN DE LA NORMA NSR-10



**FICHA DE ESTUDIO CASO : Edificio de la Caja de Empleados de la Policía Nacional**

DATOS DE LA EDIFICACIÓN		CUADRO DE AREAS	
Nombre	Edificio Caja de Sueldos de Retiro de la Policía	Numero de pisos	40
Dirección	Carrera 7 No. 32-16, Bogotá, D.C. Colombia	Área por piso	790 M2 (Aprox.)
Diseñador	Arq. Fernado Martínez Sanabria Arq. Rogelio Salmona	Área construida	38055 M2 (Aprox.)
Usos	Vivienda	Área de las fachadas	19379 M2 (Aprox.)
	Hotel (199 habitaciones)	Area de Ventanas	2835 M2 (Aprox.)
	Oficinas	Area de tableta de arcilla	16544 M2 (Aprox.)

**DESCRIPCION DE LA EDIFICACION IMAGEN FACHADA ORIGINAL**

Sistema Constructivo Mampostería, pañete y enchape  
 Materiales constitutivos Revestimiento en tableta de gres  
 Irregularidades en planta Planta asimetrica  
 Irregularidades en Altura Cubierta inclinada  
 Aislamiento con la estructura

La solución arquitectónica de este proyecto elegido por el jurado, se basó en tres ejes visuales muy definidos para la esquina noroeste de la calle 32 con carrera 7. Las caras de la torre se relacionan a estos tres ejes así: La paralela a la carrera 7., enfoca la panorámica de la Sabana; La cara que conforma la esquina, se abre hacia el espacio de la plaza de San Martín, y la orientada al este domina la magnífica vista de los cerros; La del norte, separada de los vecinos, se cierra totalmente a excepción de las pequeñas aperturas previstas para iluminación y ventilación del punto fijo. La buena implantación urbanística se siente también en los primeros pisos, a tres niveles, los cuales opuestamente a la torre se abren en concavidad, muy a la escala del peatón. El partido adoptado exalta las determinantes del terreno y acuerda buena solución a los espacios interiores, como se puede apreciar en el corte y las plantas respectivas.

CAJA DE SUELDOS DE RETIRO DE LA POLICIA NACIONAL

Fuente: Revista escala 1964



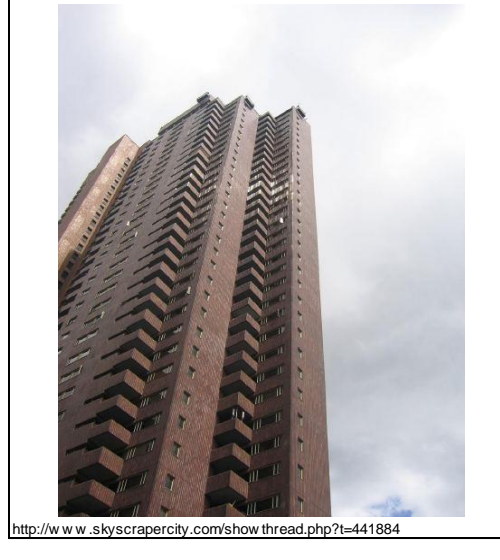
**REHABILITACION DE LA FACHADA**

Diseñador Ing. Luis Guillermo Aycardi - PCA  
 Constructor  
 Año 2005  
 Sistema Constructivo Confinamiento de las tabletas mediante perfiles metalicos anclados a las placas



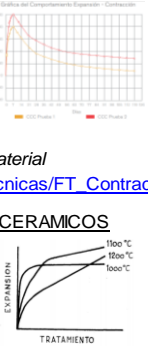

PLANTA DEL PISO TÍPICO

Fuente: Fernando Matinez Sanbria, Libro del Instituto Distrital de Patrimonio Cultural 2008

**IMAGEN FACHADA REHABILITADA**



### 5.1.2 Fichas de patología

<b>FICHA PATOLOGICA</b>	<b>CASO DE ESTUDIO: Edificio de la Caja de Empleados de la Policía Nacional</b>																														
<b>SINTOMATOLOGIA:</b>	<b>Rotura y desprendimiento de las tabletas de gres</b>																														
<b>UBICACIÓN:</b>	En todos los entrepisos																														
<b>LESION</b>	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>FISICAS</td><td></td><td>HUMEDAD</td><td></td></tr> <tr><td>QUIMICAS</td><td></td><td>DEFORMACION</td><td>GRIETA <b>X</b></td></tr> <tr><td>MECANICAS</td><td><b>X</b></td><td>EFLORESCENCIAS</td><td>OXIDACION</td></tr> <tr><td>ALTERACIONES</td><td></td><td>APARICION DE EFECTOS SECUNDARIOS</td><td>CORROSION</td></tr> <tr><td>EROSION</td><td></td><td>DESPRENDIMIENTOS</td><td>CAMBIOS DE NIV. EL.</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>ORGANISMOS</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>MUESTRA ANTERIOR</td></tr> </table>	FISICAS		HUMEDAD		QUIMICAS		DEFORMACION	GRIETA <b>X</b>	MECANICAS	<b>X</b>	EFLORESCENCIAS	OXIDACION	ALTERACIONES		APARICION DE EFECTOS SECUNDARIOS	CORROSION	EROSION		DESPRENDIMIENTOS	CAMBIOS DE NIV. EL.				ORGANISMOS				MUESTRA ANTERIOR		
FISICAS		HUMEDAD																													
QUIMICAS		DEFORMACION	GRIETA <b>X</b>																												
MECANICAS	<b>X</b>	EFLORESCENCIAS	OXIDACION																												
ALTERACIONES		APARICION DE EFECTOS SECUNDARIOS	CORROSION																												
EROSION		DESPRENDIMIENTOS	CAMBIOS DE NIV. EL.																												
			ORGANISMOS																												
			MUESTRA ANTERIOR																												
<b>DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA</b>		<b>IMAGEN DE LA LESION</b>																													
<p>Expansión de las tabletas de gres, por efectos de la humedad, generaron desprendimiento y rotura de las piezas .</p> <p>Las juntas de dilatación, en algunos tramos, no absorbieron los esfuerzos por expansión.</p>																															
<p><b>AUSCULTAMIENTO</b></p> <p>Se hicieron levantamientos fotográficos y planimétricos</p>																															
<b>DIAGNOSTICO</b>		<p>Imagen de las tabletas rotas. Fuente: Proyectistas Civiles Asociados- PCA</p>																													
<p>Ofrece peligro de aumento en la cantidad de piezas afectadas deterioro del mortero de pega, por penetración de humedad, por la piezas faltantes y peligro de colapso a largo plazo</p>																															
<b>CAUSAS</b>		<p><b>DETALLE DE LA LESION</b></p> 																													
<p><b>CONTRACCIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO</b></p> <p>"Disminución del volumen del concreto con el tiempo. Es debida a cambios en el contenido de humedad y cambios físico-químicos en el concreto, los cuales ocurren sin la presencia de esfuerzos atribuibles a acciones externas del concreto" (Definición del A.C.I.)</p> <p>Las cargas acentúan este comportamiento físico del material</p> <p><a href="http://www.cemexmexico.com/concretos/files/fichasTecnicas/FT_Contracci">http://www.cemexmexico.com/concretos/files/fichasTecnicas/FT_Contracci</a></p>																															
<p><b>EXPANSIÓN POR HUMEDAD DE LOS PRODUCTOS CERAMICOS</b></p> <p>"Se produce por la absorción de humedad ambiental en los materiales de arcilla cocida. Cuando los muros tienen longitudes considerables y ha sido coartado su movimiento longitudinal, por estar embebidos entre elementos estructurales, se origina un abombamiento grietas y fisuras horizontales y verticales, si se puede superar la carga de rotura del elemento cerámico"</p> <p>Fuente: Expansión por humedad de los productos cerámicos* A. G. VERDUCH</p>																															
<b>EFFECTO: EXPANSIÓN RESTRINGIDA DE LA FACHADA</b>																															
<p>1. Expansión por humedad: 1,2mm</p> <p>2. Expansión térmica humedad: 0,4 mm</p> <p>TOTAL: 1,6 mm</p>																															
<p>Fuente: Manual de Fachadas, Ing. Víctor Manuel Aristizabal</p>		<p>Imagen de los enchapes y mortero de pega. Fuente: Proyectistas Civiles Asociados- PCA</p>																													



**FICHA PATOLOGICA CASO DE ESTUDIO: Edificio de la Caja de Empleados de la Policía Nacional**

SINTOMATOLOGIA: Desprendimiento de las tabletas de gres  
 UBICACIÓN: En todos los entresijos

LESION	FISICAS	<input checked="" type="checkbox"/>	HUMEDAD		
	QUIMICAS		DEFORMACION		GRIETA
	MECANICAS		EFLORESCENCIAS		OXIDACION
	ALTERACIONES		APARICION DE EFECTOS SECUNDARIOS		CORROSION
	EROSION		DESPRENDIMIENTOS	<input checked="" type="checkbox"/>	ORGANISMOS
					CAMBIOS DE NIVEL
					MUESTRA ANTERIOR

**DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA**

Rotura longitudinal de las tabletas y desprendimiento de capa externa piezas. La falla es interna de la pieza de gres  
 También se observan fallas del mortero de pega, en tales casos hubo desprendimiento de las tabletas y del mortero de pega  
 Los espesores del mortero variaron entre 2 a 8 cms y se observan "capas" de mortero, en una mezcla no homogénea

**AUSCULTAMIENTO**

Se hicieron levantamientos fotográficos

**CAUSAS**

La variación en los espesores del mortero se, se explican por eventuales falla en la verticalidad de las estructuras y mamposterías y su corrección con la variación de espesores en el mortero de pega.

**DIAGNOSTICO**

Ofrecen peligro de aumento en la cantidad de piezas afectadas deterioro del mortero de pega, por penetración de humedad, por la piezas faltantes y peligro de colapso a largo plazo

**INTERVENCION**

Reforzamiento con elemento transversal para corregir las deformaciones y dar apoyo intermedio

**IMAGEN DE LA LESION**



Imagen de los desprendimientos. Fuente: Proyectistas Civiles Asociados- PCA

**DETALLE DE LA LESION**



Imagen de los enchapes y mortero de pega. Fuente: Proyectistas Civiles Asociados- PCA

### 5.1.3 Reforzamiento con perfiles metálicos

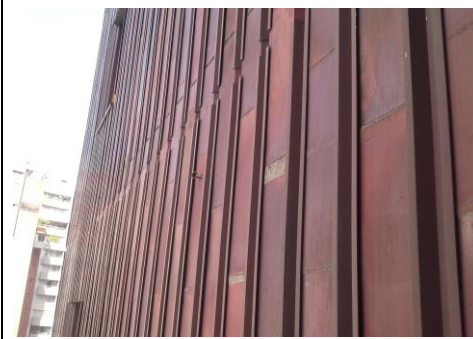

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Edificio de la Caja de Empleados de la Policía Nacional	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN</b>		<b>CUADRO DE AREAS</b>	
Diseñador	Ing. Luis Guillermo Aycardi - PCA	Numero de pisos	40
Constructor		Área por piso	790 M2 (Aprox.)
Año	2005	Área construida	38055 M2 (Aprox.)
Solución constructiva	Confinamiento de las tabletas	Área de la envolver	19379 M2 (Aprox.)
		Área de Ventanas	2835 M2 (Aprox.)
		Área de tableta de	16544 M2 (Aprox.)
<b>SOLUCIÓN ESTRUCTURAL</b>		<b>IMAGEN DE LA REHABILITACIÓN</b>	
<p>A) Instalación de perfiles metálicos, a cada lado de las tabletas de cerámica, aprovechando las hendiduras achaflanadas en los bordes de las piezas</p> <p>B) los perfiles fueron fijados a la fachada mediante anclajes mecánicos que fueron anclados a la estructura de concreto</p> <p>C) Según indicó el Ing. Aycardi, los perfiles confinan las piezas, cerámicas, aún si se presentasen nuevos desprendimientos evitando así, nuevas caídas del material de fachada y previniendo daños materiales</p> <p>D) La solución no afectó la estética de las fachadas ni causó contratiempos a normal funcionamiento de la edificación</p>		 <p>Imagen de la solución constructiva, mediante el uso de perfiles metálicos . Fuente: Ing. Luis Guillermo Aycardi- Proyectistas Civiles Asociados- PCA</p>	
<b>PROCESO CONSTRUCTIVO</b>		<b>DETALLES DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA</b>	
<p>El proceso de reforzamiento se efectuó de la siguiente manera:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Retiro de piezas averiadas o sueltas</li> <li>Retiro de mortero en proceso de desprendimiento</li> <li>Reposición de tabletas faltantes</li> <li>Emboquillado de tabletas recién instaladas</li> <li>Corrección de emboquillados entre tabletas</li> <li>limpieza de fachada</li> <li>Instalación de perfiles verticales en los bordes laterales de las piezas cerámicas</li> <li>Anclaje de perfiles a la estructura de concreto y a la mampostería con el uso de anclajes mecánicos</li> <li>Para las esquinas se usaron perfiles de mayor desarrollo y forma según se muestra en la tercera imagen de la derecha</li> </ol>		 <p>Imágenes de la solución constructiva. Reforzamiento mediante el uso de perfiles metálicos . Fuente: Imágenes propias</p>	

### 5.1.4 Costos de reforzamiento

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Edificio de la Caja de Empleados de la Policía Nacional	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN</b>		<b>CUADRO DE AREAS Y COSTOS DE REHABILITACIÓN</b>	
Diseñador	Ing. Luis Guillermo Aycardi - PCA	Numero de pisos	40
Constructor		Área por piso	790 M2 (Aprox.)
Año	2005	Área construida	38055 M2 (Aprox.)
Solución constructiva	Confinamiento de las tabletas	Área de la envolvente	19.379
		Área de Ventanas	2835 M2 (Aprox.)
		Área rehabilitada de mampos	16.544
		Rehabilitación muros	\$ 947.477.066,13
		Costo promedio	\$ 57.269 /m2
		Costo promedio en SMMLV	0,1501 SMMLV

ITEM	DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR INSUMO	VR UNITARIO	CANTIDAD INSUMO	VR TOTAL	VALOR EN SMMLV
9.1.80	<b>Elemento de arriostre vertical en platina 1/8" galvanizada ds=10,5 cms</b>	ml	9.454		\$ 80.997	52.178,390	\$ 765.741.226	2.007
	Platina 1/8" galvanizada ds=11	ml	1,000	\$ 12.200	\$ 12.200	9.454,000	\$ 115.338.800	302
	Dobleces	ml	4,000	\$ 800	\$ 3.200	37.816,000	\$ 30.252.800	79
	Mano de Obra	hc	0,210	\$ 10.500	\$ 2.205	1.985,340	\$ 20.846.070	55
	Soldadura de 1/8"	Kg	0,150	\$ 6.000	\$ 900	1.418,100	\$ 8.508.600	22
	Pernos expansivos 3/8" tipo Hilti 38HTM	un	1,133	\$ 3.724	\$ 4.221	10.714,533	\$ 39.900.922	105
	Andamio - sección	día	0,200	\$ 5.000	\$ 1.000	1.890,800	\$ 9.454.000	25
	Herramienta menor	gl	1,000	\$ 1.000	\$ 1.000	9.454,000	\$ 9.454.000	25
	Broca 5/8" L=36"	un	0,003	\$ 382.000	\$ 1.146	28,362	\$ 10.834.284	28
	Taladro con control de velocidad	día	0,025	\$ 45.000	\$ 1.125	236,350	\$ 10.635.750	28
	Equipo de soldadura	día	0,100	\$ 50.000	\$ 5.000	945,400	\$ 47.270.000	124
	Suministro y aplicación de pintura anticorrosiva - 3 mils	ml	1,000	\$ 3.500,00	\$ 3.500,00	9.454,000	\$ 33.089.000	87
	Suministro y aplicación de pintura esmalte para exteriores en dos capas de 3 mils, cada una	ml	1,000	\$ 11.500,00	\$ 11.500,00	9.454,000	\$ 108.721.000	285
	Mano de Obra - carpintería metálica	hc	2,125	\$ 16.000	\$ 34.000	20.089,750	\$ 321.436.000	843
9.1,107	<b>Lavado e impermeabilización de fachada</b>	M2	16.544		\$ 10.985		\$ 181.735.840	476
	Ácido desmanchador (manchas de cemento)	Gl	0,067	\$ 15.000	\$ 1.000	1.102,933	\$ 16.544.000	43
	Rince restaurador tipo Ladrilright	lt	0,230	\$ 7.500	\$ 1.725	3.805,120	\$ 28.538.400	75
	Bomba aspersora	día	0,015	\$ 50.000	\$ 750	248,160	\$ 12.408.000	33
	Agua de carro tanque	Lt	30,000	\$ 12	\$ 360	496.320,000	\$ 5.955.840	16
	Herramienta menor	Gl	0,200	\$ 1.000	\$ 200	3.308,800	\$ 3.308.800	9
	Repelente de humedad tipo Hidrosil Ladrillo, o similar	Lt	0,230	\$ 10.000	\$ 2.300	3.805,120	\$ 38.051.200	100
	Mano de obra - cuadrilla de aplicación de hidrófugo	HC	0,200	\$ 15.000	\$ 3.000	3.308,800	\$ 49.632.000	130
	Mano de obra - lavado y restauración de fachada	HC	0,110	\$ 15.000	\$ 1.650	1.819,840	\$ 27.297.600	72

## 5.1.5 Seguimiento al Estado de las fachadas

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Edificio de la Caja de Empleados de la Policía Nacional	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN</b>		<b>CUADRO DE AREAS</b>	
Diseñador	Ing. Luis Guillermo Aycardi - PCA	Numero de pisos	40
Constructor		Área por piso	790 M2 (Aprox.)
Año	2005	Área construida	38055 M2 (Aprox.)
Solución constructiva	Confinamiento de las tabletas	Área de la envolver	19379 M2 (Aprox.)
		Área de Ventanas	2835 M2 (Aprox.)
		Área de tableta de :	16544 M2 (Aprox.)
<b>ESTADO ACTUAL DE LA FACHADA</b>		<b>IMAGEN DEL ESTADO ACTUAL DE LA FACHADA</b>	
<p><b>Eficiencia del sistema</b></p> <p>El comportamiento de la fachada fue satisfactorio durante los eventos sísmicos, de 5.5 grados y de 6,6 grados en la escala de Richter; registrados los días 25 de mayo de 2.008 y 10 de marzo de 2015, respectivamente. No se registraron daños de ningún tipo</p> <p>No se han registrado roturas de muros ni desprendimientos de material de fachada de la torre, desde el reforzamiento a la fecha.</p> <p>En algunas zonas de las fachadas norte y sur del edificio base de la torre, no se efectuó el reforzamiento con los perfiles metálicos. Allí se observan desprendimientos de las tabletas cerámicas.</p> <p>Las fachadas de la torre se ven en buen estado, con las piezas cerámicas en su sitio y los perfiles metálicos continúan adheridos, firmemente</p>		 <p>Imagen del estado actual de la fachada y de los perfiles metálicos. Fuente: Imagen propia</p>	
<p>El efecto de expansión restringida de la fachada, se puede prevenir con la correcta disposición de dilatación de Juntas de dilatación y las recomendaciones que se dan a continuación:</p> <p><b>Recomendaciones</b></p> <p>A) Para diseñar un revestimiento cerámico de fachada, se debe tener conocimiento de los valores de expansión del material a emplear</p> <p>B) Es indispensable hacer pruebas de absorción de humedad a las piezas cerámicas a emplear</p> <p>C) En caso en que sea alto el valor de expansión, se debe esperar de 3 a 4 desde la fabricación hasta la puesta en obra de las piezas cerámicas.</p> <p>D) Controlar y acotar la rigidez de los morteros (por resistencia)</p> <p>E) Emplear morteros mixtos de cemento y cal con dosificación 1:1:7.</p> <p>F) Prever de juntas de dilatación, a distancias de 12 a 15 m</p> <p>G) Usar impermeabilizantes o repelentes de humedad en las cantidades indicadas por los fabricantes</p> <p>H) Hacer mantenimiento integral a las fachadas, emboquillados e impermeabilización de la fachada, como mínimo cada 10 años</p>		 <p>Imagen del estado actual de la fachada y de los perfiles metálicos. Fuente: Imagen propia</p>	



## 5.2 Caso 2 - Edificio Central de Operaciones del Acueducto de Bogotá

### 5.2.1 Ficha de datos básicos del caso de estudio

<b>FICHA DE ESTUDIO</b>		<b>CASO : Edificio Central de Operaciones del Acueducto de Bogotá</b>	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN</b>		<b>CUADRO DE ÁREAS</b>	
Nombre	Edificio Central de Operaciones del Acueducto de Bogotá	Numero de pisos	7 y sótano
Dirección	Calle 24 37 15, Bogotá, D.C. Colombia	Área por piso	1275 m2
Diseñador		Área construida	10200 m2
Constructor		Área de la FACHADA	5650 m2
Usos			
<b>DESCRIPCION DE LA FACHADA</b>		<b>IMAGEN FACHADA ORIGINAL</b>	
Sistema Constructivo	Ladrillo prensado a la vista		
Materiales constitutivos	Ladrillo de arcilla, ventanería de lámina y vidrio Ventanas de lamina y vidrio		
Irregularidades en planta	Asimetría		
Irregularidades en Altura	Cuarto de maquinas y antenas a nivel de cubierta		
Aislamiento con la estructura	No se detectaron dilataciones		
		Fuente: Consorcio Obcivil	
<b>REHABILITACION DE LA FACHADA</b>		<b>IMAGEN FACHADA REHABILITADA</b>	
Diseñador	Ing. Guillermo González		
Constructor	Consorcio Obcivil		
Interventoría	Consulobras		
Año	2004-2005		
Sistema Constructivo	Reforzamiento con perfiles tubulares de acero y vigas cintas de concreto Restauración y lavado de fachada  Cambio por ventanería de aluminio y vidrio de seguridad y termo acústico		
		Fuente: Consorcio Obcivil	

## 5.2.2 Fichas de patología

FICHA PATOLOGICA		CASO : Edificio Central de Operaciones del Acueducto de Bogotá					
SINTOMATOLOGIA:		<u>Fisuración de los muros de ladrillo</u>					
UBICACIÓN:		<u>En los pisos inferiores</u>					
LESION	FISICAS	X	HUMEDAD				
	QUIMICAS		DEFORMACION		GRIETA	FISURA	X
	MECANICAS		EFLORESCENCIAS		OXIDACION	CORROSION	
	ALTERACIONES		APARICION DE EFECTOS SECUNDARIOS		CAMBIOS DE NIVEL		
	EROSION		DESPRENDIMIENTOS		ORGANISMOS	MUESTRA ANTERIOR	
<b>DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA</b>				<b>IMAGEN DE LA LESION</b>			
Fisuras diagonales en los enchapes de ladrillo sobre de las placas de entresijos, en las esquinas de los voladizos							
Meteorización en algunas pocas piezas de ladrillo							
<b>AUSCULTAMIENTO</b>							
Se hicieron levantamientos fotográficos y planímetros							
Retiro de pañetes internos e inspección visual de los muros afectados				Imagen de fisuras en los muros de ladrillo. Fuente: Consorcio Obcivil			
<b>DIAGNOSTICO</b>				<b>DETALLE DE LA LESION</b>			
Los muros fueron construidos en mampostería de arcilla, quedando independientes de la estructura aporticada de concreto reforzado de la edificación, y sin ningún refuerzo interno. Esta condición le genera una alta vulnerabilidad, por la facilidad para perder el equilibrio ante las fuerzas de sismo, en su plano, pues exige al elemento a trabajar como un voladizo							
La ausencia de juntas de dilatación y de acero de refuerzo y los muros en superficies de hasta 40 mts., en interacción con la estructura de concreto y sus deformaciones, son la causa probable de las fisuraciones mostradas en la imagen de la lesión							
<b>CAUSAS</b>				Imagen de los enchapes y mortero de pega. Fuente: Consorcio Obcivil			
Las deformaciones de las placas de entresijo, introducen las fisuras en los enchapes de ladrillo, por la falta de juntas de dilatación							
Ausencia de juntas de dilatación, verticales, en los antepechos que conforman franjas de ladrillo, de longitudes mayores a 40, mts							
Mampostería simple, sin acero de refuerzo							
<b>INTERVENCION</b>							
Los diseños de "Refuerzo Sismico" no tenían previsto el tratamiento para los elementos no estructurales, por lo que, durante el proceso se propusieron tres alternativas :							
a) Demolición de muros de ladrillo ventanas originales y su reemplazo por una fachada flotante, de aluminio y vidrio, soportada en las placas							
b) Rehabilitación de la mampostería existente mediante varillas pos tensadas, ancladas a las placas y arriostradas con un perfil metálico, de coronamiento de muro, que también cumpliera la función de alfajía							
c) reforzamiento con viga de concreto unida a elementos tubulares metálicos que transmitan el sobre- esfuerzo a la estructura de concreto							
La viga de confinamiento (alfajía de concreto), repartirá el esfuerzo que el sismo le genere al muro de antepecho, a los tubulares metálicos.							

**FICHA PATOLOGICA CASO : Edificio Central de Operaciones del Acueducto de Bogotá**

SINTOMATOLOGIA: Humedades en muros y ventanas

UBICACIÓN: En todos los entresijos

LESION	FISICAS	HUMEDAD	X			
	QUIMICAS	DEFORMACION		GRIETA	FISURA	
	MECANICAS	EFLORESCENCIAS	X	OXIDACION	X	CORROSION
	ALTERACIONES	APARICION DE EFECTOS SECUNDARIOS				CAMBIOS DE NIVEL
	EROSION	DESPRENDIMIENTOS		ORGANISMOS		MUESTRA ANTERIOR

**DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA**

- Manchas de humedad y polución en los muros de ladrillo
- Manchas de humedad y polución en las pestañas de las placas
- Corrosión en las alfajías y elementos metálicos de remate de muros
- Oxidación en los marcos y batientes de las ventanas metálicas

**IMAGEN DE LA LESION**



Imagen de la corrosión de la ventaneria metálica. Fuente: Consorcio Obcivil

**AUSCULTAMIENTO**

- Se hicieron levantamientos fotográficos

**CAUSAS**

- La lluvia acida contiene óxidos de azufre, sulfatos y nitratos que causan corrosión a la mayoría de materiales, en diferentes grados
- Se usaron diferentes lacas a modo de impermeabilizantes en muros generando manchas y disparidad de tonos en los muros de ladrillo
- Fallas en la periodicidad y de calidad en el mantenimiento

**DETALLE DE LA LESION**



Imagen de la afectación por lluvia ácida en ladrillo y mortero de pega. Fuente: Consorcio Obcivil

**DIAGNOSTICO**

- Los muros de ladrillo se pueden recuperar con lavado con rinces especializados, impermeabilización con Hidrófugo
- La ventanería se debe cambiar por su avanzado estado de corrosión

**INTERVENCION**


- Cambio de ladrillos rotos o con meteorización de su superficie
- Relleno de las juntas de mortero deficientes o meteorizadas
- Lavado general de los muros de ladrillo, con rince restaurador
- Lavado localizado de los muros, con rince removedor de lacas
- Aplicación de hidrófugo, con contenido de siliconas superiores al 7% resistentes a los álcalis contenidos en la lluvia acida

### 5.2.3 Reforzamiento con perfiles metálicos tubulares

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Edificio Central de Operaciones del Acueducto de Bogotá	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN</b>		<b>CUADRO DE ÁREAS</b>	
Diseñador	Ing. Guillermo González	Numero de pisos	7 y sótano
Constructor	Consortio Obcivil	Área por piso	1275 m <sup>2</sup>
Interventor	Consulobras	Área construida	10200 m <sup>2</sup>
Año	2005	Área de la envolvente	5650 m <sup>2</sup>
<b>SOLUCIÓN ESTRUCTURAL:</b>		<b>IMAGEN DE LA REHABILITACIÓN</b>	
<p>A) Para hacer competente al muro, frente al efecto sísmico, se plantea el reforzamiento con viga de concreto unida a elementos tubulares metálicos que transmitan el sobre- esfuerzo a la estructura de concreto. La viga de confinamiento (alfajía de concreto), repartirá el esfuerzo que el sismo le genere al muro de antepecho, a los tubulares metálicos de acero y estos a su vez, a las vigas de borde de las placas de entrepiso.</p> <p>B) La viga de confinamiento, también funciona como alfajía de la Ventana de aluminio y tiene una pestaña exterior para amarrar el muro.</p>		 <p>Imagen la solución constructiva, mediante el uso de perfiles metálicos . Fuente: Consortio Obcivil</p>	
<b>PROCESO CONSTRUCTIVO</b>		<b>DETALLE DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA</b>	
<p>a) Desmonte de la ventana y la alfajía antigua</p> <p>b) Retiro de ladrillos rotos o fisurados</p> <p>c) Abrir caja en el muro, de 8x5 cm y 100 cm de altura</p> <p>d) Abrir caja en el piso, de 15x15 cm hasta la superficie de la viga</p> <p>e) Instalación de perfil tubular metálico de 70 x 45 x 2.5 mm</p> <p>f) Instalación de Pernos expansivos 3/8" para fijar el tubular</p> <p>g) Fijación del acero de refuerzo de la alfajía al tubular, con soldadura</p> <p>h) Fundida vigueta 0,18 x 0,1 m. (a modo de alfajía) con concreto y fibra de nylon tipo Coprolam 600 gr/m<sup>3</sup></p> <p>i) Colocación de marcos y ensamble de la nueva ventana de aluminio</p> <p>j) Para evitar la corrosión galvánica entre el perfil de acero, y el aluminio de la ventana, se dejaron separados ambos materiales mediante un cordón elástico, de polietileno tipo sellasil soporte</p> <p><b>Ventajas de la solución constructiva</b></p> <p>a) La solución no afecta la estética original de las fachadas de ladrillo por ubicarse al interior de los muros.</p> <p>b) Luego de la rehabilitación, los muros conservaron su espesor original por lo que no se afectó el área interior de los espacios</p> <p>c) La viga de confinamiento, también funciona como alfajía de la Ventana de aluminio</p>		 <p>Detalles de la solución constructiva, mediante el uso de perfiles metálicos y viga de concreto . Fuente: Consortio Obcivil</p>	



## 5.2.4 Reforzamiento con columnetas de concreto

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Edificio Central de Operaciones del Acueducto de Bogotá	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN</b>		<b>CUADRO DE AREAS</b>	
Diseñador	Ing. Guillermo González	Numero de pisos	7 y sótano
Constructor	Consortio Obcivil	Área por piso	1275 m <sup>2</sup>
Interventor	Consulobras	Área construida	10200 m <sup>2</sup>
Año	2005	Área de la FACHADA	5650 m <sup>2</sup>
<b>SOLUCIÓN ESTRUCTURAL:</b>			
<b>Reforzamiento de culatas de ladrillo con columneta 0,125 x 0,25</b>			
<b>Descripción de la solución constructiva</b>			
Para hacer competente al muro, frente al efecto sísmico, se plantea un reforzamiento con columnetas de concreto unida a elementos las placa de entrepiso			
<b>Proceso constructivo</b>		<b>IMAGEN DE LA REHABILITACIÓN</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Abrir caja en el muro, en el muro de bloque, 25 cm a la altura del muro para poder poner anclajes al muro de ladrillo y vigas</li> <li>2) Retiro de escombros de ladrillos y/o bloques de arcilla</li> <li>3) Instalación de 4 anclajes de 1/2", en la vigas de concreto y en los muros de ladrillo macizo, de la culata</li> <li>4) Amarre del acero de refuerzo, con los anclajes</li> <li>5) Instalación d la formaleta</li> <li>6) Fundida de la columneta, con concreto fluido</li> <li>7) retiro de la formaleta, al día siguiente de la fundida</li> <li>8) Pañete sobre la columna, dejando dilataciones</li> <li>9) estuco y pintura</li> </ol>		 <p>Imagen la solución constructiva, mediante el uso de columnetas . Fuente: Consortio Obcivil</p>	
<b>REHABILITACION DE LA FACHADA</b>		<b>DETALLE DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA</b>	
<p><b>Descripción de la solución constructiva</b></p> <p>Para hacer competente al muro, frente al efecto sísmico, se plantea aquí generar una fuerza axial a través de una barra que se incrusta en el muro y que será tensada posteriormente.</p> <p>La barra, por medio de una platina, repartirá este esfuerzo al muro y ésta a su vez lo traslada al apoyo, donde se ancla la varilla de tensado.</p> <p><b>Ventajas de la solución constructiva</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>A) La solución no afecta la estética original de la FACHADA por ubicarse al interior de los muros de ladrillo</li> <li>B) El ladrillo macizo permitió la fijación el anclaje epóxido</li> <li>C) Esta solución fue aplicada en muros dobles</li> </ol> <p><b>Estado actual de la FACHADA</b></p> <p>El comportamiento de la FACHADA fue satisfactorio durante el evento sísmico , de 5.5 grados, del 24 de mayo de 2008. No se registraron daños.</p> <p>En la actualidad, la superficie de ladrillo esta en buen estado</p>		 <p>Imagen la solución constructiva . Fuente: Programa de Capacitación para la Estimación del Riesgo - PCER</p>	

## 5.2.5 Costos totales de reforzamiento

### FICHA DE ESTUDIO CASO : Edificio Central de Operaciones del Acueducto de Bogotá

DATOS DE LA EDIFICACIÓN		CUADRO DE AREAS Y COSTOS DE REHABILITACIÓN			
Diseñador	Ing. Guillermo González	Numero de pisos	7 y sótano		
Constructor	Consorcio Obcivil	Área por piso	1.275	m2	
Interventor	Consulobras				
Año	2005	Área construida	10.200	m2	
Área de la envolvente	5.690 m2	Costo de la rehabilitación	\$	444.425.168	
		Costo promedio	\$	78.106 /m2	
Área rehabilitada de mampostería	2.900 m2	Rehabilitación muros	\$	142.483.718	
		Costo promedio	\$	49.132 /m2	
		Costo promedio SMMLV		0,129	
Área rehabilitada de ventanería	2.790 m2	Rehabilitación ventanas	\$	301.941.450	
		Costo promedio	\$	108.223 /m2	
		Costo promedio SMMLV		0,284	

ITEM	DESCRIPCION	UN	CANTIDA D	VR INSUMO	VR UNITARIO	CANTIDAD INSUMO	VR TOTAL	VALOR EN SMMLV
9.1.80	Suministro e instalación de tubular metálico de 70 x 45 x 2.5 mm incluye corte de muro y elaboración de caja	un	312,000		\$ 219.300		\$ 68.421.600	179,349
	tubular metálico de 70 x 45 x 2.5 mm, fy= 50.000 PSI	ml	2,750	\$ 16.000	\$ 44.000	858,000	\$ 13.728.000	35,984
	Suministro y aplicación de pintura anticorrosiva - 3 mils	glb	1,000	\$ 11.000	\$ 11.000	312,000	\$ 3.432.000	8,996
	Suministro y aplicación de pintura de Epoxi poliamida en dos capas de 3 mils, cada una	glb	1,000	\$ 32.834	\$ 32.834	312,000	\$ 10.244.208	26,852
	SopORTE en platina de acero tipo A-36 de 3/16" x 4"	Un	2,000	\$ 6.500	\$ 13.000	624,000	\$ 4.056.000	10,632
	Soldadura de 1/8"	Kg	0,250	\$ 6.000	\$ 1.500	78,000	\$ 468.000	1,227
	Pernos expansivos 3/8" tipo Hilti 38HTM	un	4,000	\$ 3.724	\$ 14.896	1.248,000	\$ 4.647.552	12,182
	Andamio - sección	día	0,200	\$ 5.000	\$ 1.000	62,400	\$ 312.000	0,818
	Disco diamantado para corte de muro d=9"	Un	0,010	\$ 390.000	\$ 3.750	3,000	\$ 1.170.000	3,067
	Herramienta menor	gl	1,000	\$ 1.000	\$ 1.000	312,000	\$ 312.000	0,818
	Pulidora	día	0,090	\$ 25.000	\$ 2.250	28,080	\$ 702.000	1,840
	Broca 5/8" L=36"	un	0,010	\$ 382.000	\$ 3.820	3,120	\$ 1.191.840	3,124
	Taladro con control de velocidad	día	0,250	\$ 45.000	\$ 11.250	78,000	\$ 3.510.000	9,201
	Equipo de soldadura	día	0,100	\$ 50.000	\$ 5.000	31,200	\$ 1.560.000	4,089
Mano de Obra - corte de muro	hc	3,810	\$ 10.500	\$ 40.000	1.188,571	\$ 12.480.000	32,713	
Mano de Obra - carpintería metálica	hc	2,125	\$ 16.000	\$ 34.000	663,000	\$ 10.608.000	27,806	
9.1.79	Concreto (vigüeta 0,18 x 0,1 m) a modo de alfajía, f'c = 210 kg / cm2	ml	726,000		\$ 52.181	52.178,390	\$ 37.883.123	99,300
	Concreto fluido para vigüeta a modo de alfajía, f'c = 210 kg / cm2	M3	0,020	\$ 320.105	\$ 6.402	14,520	\$ 4.647.932	12,183
	Fibra de nylon tipo Coprolam 600 gr/m3	Kg	0,090	\$ 15.000	\$ 1.350	65,340	\$ 980.100	2,569
	Acero de refuerzo	Kg	2,000	\$ 1.300	\$ 2.600	1.452,000	\$ 1.887.600	4,948
	Alambre Negro	Kg	0,060	\$ 2.000	\$ 120	43,560	\$ 87.120	0,228
	Formaleta metálica para alfajía	ml	0,054	\$ 150.000	\$ 8.057	38,996	\$ 5.849.382	15,333
	Elemento de soporte de la formaleta	un	1,000	\$ 2.500	\$ 2.500	726,000	\$ 1.815.000	4,758
	Herramienta menor	gl	0,500	\$ 1.000	\$ 500	363,000	\$ 363.000	0,952
	Anclaje (incluye taladro, broca y epóxido)	un	0,750	\$ 3.724	\$ 2.793	544,500	\$ 2.027.718	5,315
	ACPM	GI	0,060	\$ 3.800	\$ 228	43,560	\$ 165.528	0,434
	Bocel de madera	ml	1,000	\$ 2.000	\$ 2.000	726,000	\$ 1.452.000	3,806
	Mano de Obra	hc	2,441	\$ 10.500	\$ 25.631	1.772,166	\$ 18.607.743	48,775

**FICHA DE ESTUDIO CASO : Edificio Central de Operaciones del Acueducto de Bogotá**

ITEM	DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR INSUMO	VR UNITARIO	CANTIDAD INSUMO	VR TOTAL	VALOR EN SMMLV
9.1.74	<b>Reforzamiento de culatas de ladrillo (columneta 0,125 x 0,25 ) incluye corte muro y elaboración de caja</b>	<b>ML</b>	<b>270,000</b>		<b>\$ 77.486</b>		<b>\$ 20.921.220</b>	<b>54,839</b>
	Concreto fluido 4000 psi	m3	0,035	\$ 300.000	\$ 10.500	9,450	\$ 2.835.000	7,431
	Formaleta	m2	0,250	\$ 15.000	\$ 3.750	67,500	\$ 1.012.500	2,654
	Tabla chapa de 15 cms	ml	2,000	\$ 1.200	\$ 2.400	540,000	\$ 648.000	1,699
	ACPM	Gl	0,120	\$ 3.800	\$ 456	32,400	\$ 123.120	0,323
	Andamio	d	0,250	\$ 5.000	\$ 1.250	67,500	\$ 337.500	0,885
	Paral metálico	día	0,900	\$ 1.500	\$ 1.350	243,000	\$ 364.500	0,955
	Puntilla	Lb	0,400	\$ 1.200	\$ 480	108,000	\$ 129.600	0,340
	Pulidora	día	0,090	\$ 25.000	\$ 2.250	24,300	\$ 607.500	1,592
	Volqueta	Vj	0,020	\$ 75.000	\$ 1.500	5,400	\$ 405.000	1,062
	Disco para pulidora	Un	0,170	\$ 25.000	\$ 4.250	45,900	\$ 1.147.500	3,008
	Herramienta menor	gl	1,000	\$ 1.000	\$ 1.000	270,000	\$ 270.000	0,708
	Mano de Obra	hc	4,600	\$ 10.500	\$ 48.300	1.242,000	\$ 13.041.000	34,183
	<b>Suministro de ventanería proyectante en aluminio (incluye vidrio cristal incoloro)</b>	<b>m2</b>	<b>2.790</b>		<b>\$ 95.185</b>		<b>\$ 265.566.150</b>	<b>696,110</b>
	Marco de Aluminio	m2	1,000	\$ 34.600	\$ 34.600	\$ 2.790	\$ 96.534.000	253,038
	Batiente de aluminio	m2	1,000	\$ 29.400	\$ 29.400	\$ 2.790	\$ 82.026.000	215,009
	Accesorios y herrajes	Glb	1,000	\$ 8.000	\$ 8.000	\$ 2.790	\$ 22.320.000	58,506
	Elementos de fijación	Glb	1,000	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.790	\$ 6.975.000	18,283
	Vidrio incoloro 5 mm	m2	1,100	\$ 15.800	\$ 17.380	\$ 3.069	\$ 48.490.200	127,104
	Herramienta menor	gl	0,053	\$ 1.000	\$ 53	\$ 148	\$ 147.870	0,388
	Andamio	d	0,100	\$ 5.000	\$ 500	\$ 279	\$ 1.395.000	3,657
	Mano de Obra - instalación	hc	0,172	\$ 16.000	\$ 2.752	\$ 480	\$ 7.678.080	20,126
	9,1,107	<b>Lavado e impermeabilización de fachada</b>	<b>M2</b>	<b>2.900</b>		<b>\$ 10.985</b>		<b>\$ 31.856.500</b>
Ácido desmanchador (manchas de cemento)		Gl	0,067	\$ 15.000	\$ 1.000	193,333	\$ 2.900.000	7,602
Rinse restaurador tipo Ladrilbright		lt	0,230	\$ 7.500	\$ 1.725	667,000	\$ 5.002.500	13,113
Bomba aspersora		día	0,015	\$ 50.000	\$ 750	43,500	\$ 2.175.000	5,701
Agua de carrotanque		Lt	30,000	\$ 12	\$ 360	87.000,000	\$ 1.044.000	2,737
Herramienta menor		Gl	0,200	\$ 1.000	\$ 200	580,000	\$ 580.000	1,520
Repelente de humedad tipo Hidrosil Ladrillo, o similar		Lt	0,230	\$ 10.000	\$ 2.300	667,000	\$ 6.670.000	17,484
Mano de obra - cuadrilla de aplicación de hidrófugo		HC	0,200	\$ 15.000	\$ 3.000	580,000	\$ 8.700.000	22,805
Mano de obra - lavado y restauración de fachada		HC	0,110	\$ 15.000	\$ 1.650	319,000	\$ 4.785.000	12,543
	<b>Protección temporal para aluminio y vidrio</b>	<b>M2</b>	<b>1.580,000</b>		<b>\$ 2.860</b>		<b>\$ 4.518.800</b>	<b>11,845</b>
	Rinse industrial para Protección de vidrios	Kg	0,033	\$ 3.500	\$ 115	51,914	\$ 181.700	0,476
	Pintura cascara para Protección de aluminio	gl	0,003	\$ 65.000	\$ 195	4,740	\$ 308.100	0,808
	Mano de obra - instalación de las protecciones	HC	0,080	\$ 15.000	\$ 1.200	126,400	\$ 1.896.000	4,970
	Mano de obra - retiro de la pintura cascara	HC	0,090	\$ 15.000	\$ 1.350	142,200	\$ 2.133.000	5,591
9.1.81	<b>Salvavidas de madera en el perímetro del edificio</b>	<b>mes</b>	<b>6,500</b>		<b>\$ 2.347.350</b>		<b>\$ 15.257.775</b>	<b>39,994</b>
	Planchón de 3 mts	ml	148,500	\$ 2.600	\$ 386.100	965,250	\$ 2.509.650	6,578
	Repisa de madera	ml	112,500	\$ 1.300	\$ 146.250	731,250	\$ 950.625	2,492
	Cercha metálica	día	1.800,000	\$ 150	\$ 270.000	11.700,000	\$ 1.755.000	4,600
	Escalerilla para transporte vertical	día	30,000	\$ 700	\$ 21.000	195,000	\$ 136.500	0,358
	Sistema de andamio colgante de fachada	día	1.800,000	\$ 700	\$ 1.260.000	11.700,000	\$ 8.190.000	21,468
	Alambre Negro	Kg	6,000	\$ 2.000	\$ 12.000	39,000	\$ 78.000	0,204
	Mano de Obra	hc	24,000	\$ 10.500	\$ 252.000	156,000	\$ 1.638.000	4,294

## 5.2.1 Seguimiento al Estado de las fachadas

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Edificio Central de Operaciones del Acueducto de Bogotá	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN</b>		<b>CUADRO DE AREAS</b>	
Diseñador	Ing. Guillermo González	Numero de pisos	7 y sótano
Constructor	Consorcio Obcivil	Área por piso	1275 m <sup>2</sup>
Interventor	Consulobras	Área construida	10200 m <sup>2</sup>
Año	2005	Área de la envolvente	5650 m <sup>2</sup>
<b>ESTADO ACTUAL DE LAS FACHADAS</b>		<b>IMAGEN DE LA FACHADA</b>	
<p><b>Eficiencia del sistema</b></p> <p>El comportamiento de la fachada fue satisfactorio durante los eventos sísmicos, de 5.5 grados y de 6,6 grados en la escala de Richter; registrados los días 25 de mayo de 2.008 y 10 de marzo de 2015, respectivamente. No se presentaron daños</p> <p>Aún se observan fisuras diagonales en los enchapes de ladrillo sobre las esquinas de las placas de entrepisos, en los voladizos. Estas deficiencias estaban antes del reforzamiento. No se han presentado variaciones desde entonces</p>		 <p>Imagen actual de la fachada . Fuente: skyscrapercity.com /showthread.php?t=840454&amp;page=12</p>	
<b>ESTADO ACTUAL DE LAS FACHADAS</b>		<b>DETALLES DE LA FACHADA</b>	
<p>En la actualidad, la fachada de ladrillo esta en buen estado, solo se evidencian algunas zonas con eflorescencias salinas, en donde habían antiguas humedades, evidenciadas en manchas oscuras</p> <p>La ventanería de aluminio fue modificada, para introducir rejillas de ventilación</p> <p><b>Recomendaciones</b></p> <p>Para evitar las fisuraciones en las superficies de ladrillo, se recomienda:</p> <p>A) Para diseñar un revestimiento deladrillo de fachada, se deben preveer de juntas de dilatación, a distancias de 12 a 15 m y en las uniones con la estructura de concreto, disponer de juntas de icopor diseñadas, para la deflexión maxima de los elementos estructurales</p> <p>B) Es indispensable hacer pruebas de absorción de humedad a las piezas para tener conocimiento de los valores de expansión del material a emplear y poder programar las juntas de dilatación, acorde con estas expansiones</p> <p>C) Emplear morteros mixtos de cemento y cal con dosificación 1:1:7.</p> <p>Para evitar las eflorescencias en las superficies de ladrillo, se recomienda:</p> <p>D) Hacer mantenimiento integral a las fachadas, emboquillados e impermeabilización de la fachada, como mínimo cada 10 años</p> <p>E) Usar impermeabilizantes o repelentes de humedad en las cantidades indicadas por los fabricantes</p>		  <p>Imagen actual de la fachada . Fuente: Propia</p>	



## 5.3 Caso 3 - Alternativa con mampostería pos-tensada

### 5.3.1 Reforzamiento con tensores metálicos



REHABILITACIÓN DE ENVOLVENTES ARQUITECTÓNICAS DE EDIFICACIONES,  
CONSTRUIDAS EN COLOMBIA, ANTES DE LA EXPEDICIÓN DE LA NORMA NSR-10



**FICHA DE ESTUDIO CASO : Edificio Central de Operaciones del Acueducto de Bogotá**

**DATOS DE LA EDIFICACIÓN**

Diseñador Ing. Antonio Ramirez Vargas  
 Constructor  
 Año 2005  
 Solución constructiva sistema postensado de la mampostería

**CUADRO DE AREAS**

Numero de pisos 7 y sótano  
 Área por piso 1275 m2  
 Área construida 10200 m2  
 Área de la FACHAD/ 5650 m2

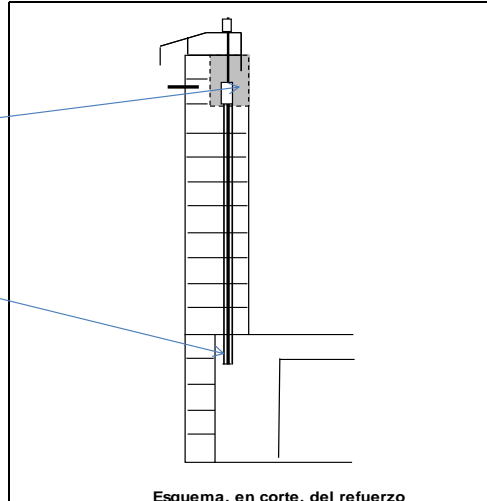
**SOLUCIÓN ESTRUCTURAL:**

**SISTEMA DE POSTENSADO DE LA MAMPOSTERIA**

**Proceso constructivo**

- 1) Desmante de la ventana y la alfaja antigua
- 2) Colocar guías para el taladro y protectores de polvo
- 3) Abrir caja en el muro, de 15x15 cm y 10 cm dentro del muro
- 4) Taladrar, con broca de 5/8" perforando al menos 6 cm dentro de la viga de la placa de entepiso. Es preferible usar una guia inicial de unos 35 cm con un taladro y luego perforar el resto con la broca de 1 mt.
- 5) Limpiar el hueco y el fondo para colocar el adhesivo epoxico
- 6) Inyectar el epoxico en al menos 3/4 de la profundidad del anclaje, es decir
- 7) por lo menos menos 4.5 cm., dentro de la viga de borde de la placa
- 8) Colocar la varilla roscada, asegurando su anclaje
- 9) Inyectar mortero liquido en espacio libre entre el hueco y la barra
- 10) Colocar platina de apoyo, de 12x8 cm x 1/8" de espesor
- 11) Hacer el tensionamiento revisando alargamiento y medicion de la fuerza mediante el uso de un torquimetro.
- 12) Conexión de la alfaja de refuerzo longitudinal.
- 13) Inyeccion del mortero liquido en espacio que se deja entre alfaja y muro
- 14) Colocacion de marcos y ensamble de la nueva ventana.

**IMAGEN DE LA REHABILITACIÓN**



**REHABILITACION DE LA FACHADA**

**Descripción de la solución constructiva**

Para hacer competente al muro, frente al efecto sísmico, se plantea aquí generar una fuerza axial a través de una barra que se incrusta en el muro y que será tensada posteriormente. La barra, por medio de una platina, repartirá este esfuerzo al muro y ésta a su vez lo traslada al apoyo, donde se ancla la varilla de tensado.

**Ventajas de la solución constructiva**

- A) La solución no afecta la estética original de la FACHADA
- B) se puede verificar la fuerza que se aplica al muro y la confiabilidad del anclaje, con el el uso del torquimetro

**DETALLE DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA**



Imagen la solución constructiva . Fuente: Propia

### 5.3.2 Memorias de diseño

FICHA DE ESTUDIO	CASO : Edificio Central de Operaciones del Acueducto de Bogotá
------------------	----------------------------------------------------------------

#### MEMORIAS DE REFORZAMIENTO DE LA FACHADA PARA EL EDIFICIO DEL ACUEDUCTO DE BOGOTÁ CON SISTEMA DE MAMPOSTERÍA POSTENSADA

##### Conceptos generales:

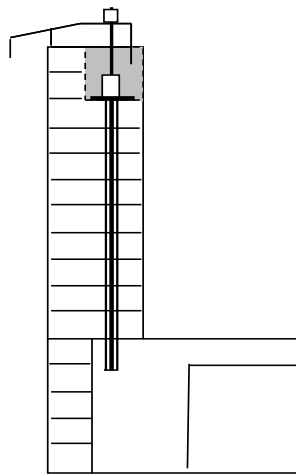
Los antepechos del edificio principal de la Empresa de Acueducto de Bogotá fueron construidos en mampostería de arcilla, quedando independientes de la estructura aporticada de concreto reforzado de la edificación, y sin ningún refuerzo interno.

Esta condición le genera una alta vulnerabilidad por la facilidad para perder el equilibrio ante las fuerzas de sismo normales a su plano, pues exige al elemento a trabajar como un voladizo, y no tiene la capacidad para absorber los esfuerzos de tensión en primer lugar, y luego de corte que le impone el movimiento esperado en la zona.

Para dotarlo de las habilidades de las que carece, se plantea aquí generar una fuerza axial a través de una barra que se incrusta en el muro y que será tensada posteriormente.

La barra, por medio de una platina, repartirá este esfuerzo a la mampostería y ésta a su vez lo traslada al apoyo, donde se ancla la varilla de tensado.

Una alfajía de remate, que permite un espacio para rellenar con un mortero fluido, y que se a su vez se conecta a las varillas, sirve para conectar los elementos a lo largo del antepecho.



Esquema, en corte, del refuerzo

##### Fuerzas de sismo

Se siguen las pautas del Capítulo A-9 de la Norma Colombiana de Sismoresistencia

$$A_a = 0,2$$

$$S \text{ (tipo S)} = 1,5$$

$$I = 1,1 \text{ (Grupo de uso II)}$$

Del cálculo estructural del edificio se obtiene  $T_1 = 2.12 \text{ seg}$ , y  $T_2 = 2.0 \text{ seg}$

Para estos periodos se encuentra en el espectro de aceleraciones el valor de

$$S_a = 0,22$$

Grado de desempeño Bueno

$$F_p = (a_x \cdot a_p / R_p) \cdot g \cdot M_p \cdot (A_a \cdot I / 2) \cdot g \cdot M_p$$

$$F_p \geq 0,11 \cdot g \cdot M_p$$

**FICHA DE ESTUDIO CASO : Edificio Central de Operaciones del Acueducto de Bogotá**

**MEMORIAS DE REFORZAMIENTO DE LA FACHADA PARA EL EDIFICIO DEL ACUEDUCTO DE BOGOTA CON SISTEMA DE MAMPOSTERIA POSTENSADA**

ap = 2,5 para mampostería no reforzada independiente de la estructura  
 1,0 para mampostería reforzada

Rp = 1,5

Fp = 0,000 g Mp, 0,3 g Mp

**Cargas de diseño**

Dimensiones del muro (m)

esp tot (t) 0,15  
 esp ladr ( 0,12  
 esp mort 0,12  
 altura (h) 0,86  
 Densidad 18 KN/m<sup>3</sup>

Peso pro Po = 2,322 KN/m

Se escoje para la separacion de las barras un valor menor que dos veces la altura del antepecho

Separaci s = 1,6 m

Area total de sec tran, 0,24 m<sup>2</sup>

Area de la sec de ladr, 0,192 m<sup>2</sup>

Resistencia a la compresion admisible en el = 7500 Kpa

Si el muro se considera como voladizo empujado normalmente a su plano, se obtiene

Fp = 1,11 KN/m

Para el calculo de esfuerzos se asume que todo lo asume el ladrillo

Modulo de Seccion Sc s t<sup>2</sup> / 6 = 0,00384

M de volcM = ( Fp h' = 0,41 KN m

**Calculo de los esfuerzos inmediatamente despues de transferencia**

Esfuerzos ( Kpa ) en los extremos exterior e interior del muro en la base  
 Se toma la compresion con valor positivo (+) y la tension con valor negativo (-)

Concepto	Formula	Exterior	Interior
Por peso propio	Po / A	12,09375	12,0938
Empuje del sismo	M / Sc	107,33	-107,33
Suma parcial		119,43	-95,24

Si el postensado absorbe todo el esfuerzo de tension, se requiere, teniendo en cuenta la excentricidad de la barra, aprox una fuerza de 15 KN. Se hace el ensayo con este valor.

Pp = 15 KN  
 Excent, 0,015 m

Postensado axial	Pp / A	78,13	78,13
Por excentr de la barra	Pp e / Sc	-58,59	58,59
	Sumatoria	138,96	41,48
	Admisibles a compr	7500 OK !	

**FICHA DE ESTUDIO****CASO : Edificio Central de Operaciones del Acueducto de Bogotá****MEMORIAS DE REFORZAMIENTO DE LA FACHADA PARA EL EDIFICIO DEL ACUEDUCTO DE BOGOTÁ CON SISTEMA DE MAMPOSTERÍA POSTENSADA**En condición de trabajo del muro  $(P_o + P_p)/A = 99,89 < F_a$  $F_a = 0,2 f_m$   $R_e = 1500 \text{ KPa}$ Para una barra de diam 1/2",  $y f_t = 420000 \text{ KPa}$  $Asp = 0,74 \text{ cm}^2$  (Hay reducción del área en la garganta de la rosca) $f_{pi} = P_p / Asp = 202702,7 \text{ Kpa} < 0,94 f_{py} = 394800$ 

Las pérdidas se reducen a la relajación del acero en el tiempo.

Se evalúan para un período de 2 a 17520 horas

 $\Delta f_{pr} = 0,1 \log t (f_{pi} / f_{py} - 0,55) f_{pi} = -5795,393 \text{ KPa}$ 

Después de pérdidas

 $f_{ps} = 208498,1 \text{ Mpa} < 0,82 f_{py} = 344400 \text{ KPa} \quad \text{OK}$ 

Para el esfuerzo de corte, se tiene lo siguiente

Cortante en la Base  $V = F_p * s$ Cortante unitario en el muro  $f_v = 9,288 \text{ Kpa} \ll F_v$ 

El torque a aplicar, depende del paso y perímetro de la barra.

Si se tiene un paso de 1/16" y la barra de 1/2", entonces

 $\tan \alpha = \text{paso} / \text{perímetro} = 0,040$ Longitud del tensado,  $L = 0,8 \text{ m}$ Módulo Elástico del Acero,  $E_s = 2,10 \times 10^7 \text{ Kpa}$ 

Para control del alargamiento del acero:

Alargamiento,  $f_{pi} L / E_s = 7,72 \times 10^{-3} \text{ m}$ 

No. de pasos de 1/16" 4,86

Para el anclaje de la barra en la viga se puede usar un epóxico en la longitud que garantice la tensión de al menos 15 KN.

La alfaja que se ha elegido corresponde a un perfil sencillo de 1/8" de espesor, en acero galvanizado, que tiene la rigidez suficiente para conectar los tramos de muro entre barras.

**Recomendaciones para el proceso constructivo**

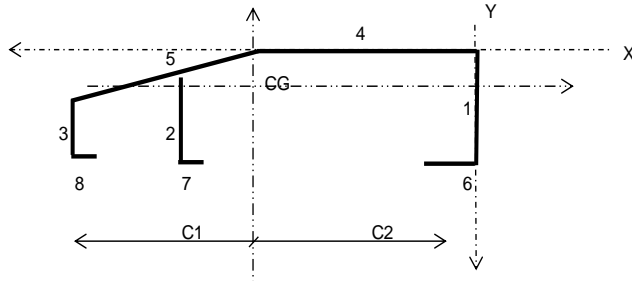
Una vez se retire la ventana existente se debe proceder de la siguiente manera

- 1.- Colocar guías para el taladro y protectores de polvo
- 2.- Abrir caja en el muro, sin tocar la fachada, de 15x15 cm y 10 cm dentro del muro
- 3.- Taladrar, perforando al menos 6 cm dentro de la viga de concreto. Es preferible usar una guía inicial de unos 35 cm con un taladro y luego perforar el resto con la broca adecuada, en este caso el hueco debe quedar de 5/8".
- 4.- Limpiar el hueco y el fondo para colocar el adhesivo.
- 5.- Inyectar el epoxico en al menos 3/4 de la profundidad del anclaje, es decir por lo menos 4.5 cm.
- 6.- Colocar la varilla roscada, asegurando su anclaje
- 7.- Inyectar mortero líquido en espacio libre entre el hueco y la barra
- 8.- Colocar platina de apoyo, de 12x8 cm x 1/8" de espesor
- 9.- Hacer el tensionamiento revisando alargamiento y medición de la fuerza con el torquímetro.
- 10.- Conexión de la alfaja de refuerzo longitudinal.
- 11.- Inyección del mortero líquido en espacio que se deja entre alfaja y muro
- 12.- Colocación de marcos y ensamble de la nueva ventana.

FICHA DE ESTUDIO CASO : Edificio Central de Operaciones del Acueducto de Bogotá

MEMORIAS DE REFORZAMIENTO DE LA FACHADA PARA EL EDIFICIO DEL ACUEDUCTO DE BOGOTA CON SISTEMA DE MAMPOSTERIA POSTENSADA

Revisión de esfuerzos en riostra superior que sirve de alfaja



Lamina de acero calibre 16  
(Mínimo para control de pandeo local)

Fy = 36 ksi  
2520 K/cm2  
247,2 MPa

Elemento	Lx	Ly	L	xi	yi	Ly xi	Lx yi	dxi	d yi	Ly dxi^2	Lx d yi^2	θ	lo
	cm	cm	cm	cm	cm	cm2	cm2	cm	cm	cm3	cm3	rad	cm3
1	0	7,0	7,0	0,0	3,5	0,0	0,0	9,5	-1,9	637,2	0,0	0,0	28,6
2	0	5,5	5,5	13,0	4,3	71,5	0,0	-3,5	-2,7	65,8	0,0	0,0	13,9
3	0	3,0	3,0	20,0	5,0	60,0	0,0	-10,5	-3,4	328,2	0,0	0,0	2,3
4	10	0,0	10,0	5,0	0,0	0,0	0,0	4,5	1,6	0,0	24,5	1,6	83,3
5	10	3,0	10,4	15,0	1,5	45,0	15,0	-5,5	0,1	89,4	0,0	1,3	94,8
6	1	0,0	1,0	1,0	7,0	0,0	7,0	8,5	-5,4	0,0	29,5	1,6	0,1
7	1	0,0	1,0	14,0	7,0	0,0	7,0	-4,5	-5,4	0,0	29,5	1,6	0,1
8	1	0,0	1,0	19,0	7,0	0,0	7,0	-9,5	-5,4	0,0	29,5	1,6	0,1
	23	18,5	38,9			176,5	36,0						

X prom = 9,54 cm      y prom = 1,57 cm      Sección total elemento = 5,69 cm2

Elemento	lo x cm3	lo y cm3	lxx cm3	lyy cm3	
1	28,6	0,0	28,6	637,2	Si se asume como una viga continua, con apoyos maximos a 2.95 m, para una carga repartida suponiendo que el empuje sísmico se va a distribuir de manera uniforme, se obtiene:  Empuje sísmo, F <sub>p</sub> 0,53 KN/m2      L máx = 2,95 m M max alfaja = (Fp Lmax ^2) / 9 = 0,508 KN m  C1 = -0,105 m      C2 = 0,095 m  Esf tens max = Mmax C1 / lyy = -28,4 MPa << 148,3 Esf comp max = Mmax C2/ lyy = 25,9 MPa << 148,3 Deformaciones, aprox. = 0 cm  Sección a tens 2,97 cm2      Reacción apoyos (en extremos) Sección a comp 2,71 cm2      R = 0,77 KN 77 Kg
2	13,9	0,0	13,9	65,8	
3	2,3	0,0	2,3	328,2	
4	0,0	83,3	24,5	83,3	
5	0,2	76,5	0,2	165,9	
6	0,0	0,1	29,5	0,1	
7	0,0	0,1	29,5	0,1	
8	0,0	0,1	29,5	0,1	
	Sumas =		158,0	1280,6	
		lyy compl	186,97 cm4	1,8697E-06 m4	

Para estas condiciones se produciría una reacción en cada extremo de alfaja (contra perfiles de apoyo) de 0.77 KN.

Si se rellena la alfaja internamente, la rigidez se aumenta considerablemente, pero no se ve necesario, aunque sí es preciso fijarla muy bien en tramos cortos (aprox L/5, max 60 cm) y soportarla en forma continua, con mortero de base.

## 5.3.3 Costos de reforzamiento

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Edificio Central de Operaciones del Acueducto de Bogotá	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN</b>		<b>CUADRO DE AREAS Y COSTOS DE REHABILITACIÓN</b>	
Diseñador	Ing. Antonio Ramirez	Numero de pisos	7 y sótano
Constructor	Consortio Obcivil	Área por piso	1.275 m2
Interventor	Consulobras	Área construida	10.200 m2
Año	2005	Área de la envolvente	5.690 m2
Área de la envolvente	5.690 m2	Costo de la rehabilitación	\$ 434.979.593
		Costo promedio	\$ 76.446 m2
		Costo promedio SMMLV	0,20 SMMLV
Área rehabilitada de mampostería	2.900 m2	Rehabilitación muros	\$ 133.038.147
		Costo promedio	\$ 45.875 m2
		Costo promedio SMMLV	0,12 SMMLV
Área rehabilitada de ventanería	2.790 m2	Rehabilitación ventanas	\$ 301.941.450
		Costo promedio	\$ 108.223 m2
		Costo promedio SMMLV	0,23 SMMLV

ITEM	DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR INSUMO	VR UNITARIO	CANTIDAD INSUMO	VR TOTAL	VALOR EN
9.1.80	<b>Reforzamiento de antepechos mampostería postensada</b>	un	454,000		\$ 157.337		\$ 71.430.998	187,24
	Epóxico H(RE500) ó G5 ó similar	kg	0,042	\$ 180.000,00	\$ 7.560,00	19,068	\$ 3.432.240	9,00
	Broca 1/2"	un	0,012	\$ 80.000,00	\$ 960,00	5,448	\$ 435.840	1,14
	Herramienta menor	gl	1,000	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00	454,000	\$ 454.000	1,19
	Mortero fluido tipo Grautoc o similar	Kg	21,000	\$ 1.600,00	\$ 33.600,00	9.534,000	\$ 15.254.400	39,99
	Esparrago de 3/8 L= 1 mt, acero de 60.000 psi	Un	1,020	\$ 10.700,00	\$ 10.914,00	463,080	\$ 4.954.956	12,99
	Broca 5/8" L=36"	un	0,010	\$ 382.000,00	\$ 3.820,00	4,540	\$ 1.734.280	4,55
	Taladro con control de velocidad	dia	0,300	\$ 45.000,00	\$ 13.500,00	136,200	\$ 6.129.000	16,07
	Andamio	dia	0,300	\$ 5.000,00	\$ 1.500,00	136,200	\$ 681.000	1,79
	Tuerca y contratuerca de 3/8"	un	2,000	\$ 500,00	\$ 1.000,00	908,000	\$ 454.000	1,19
	Platina metálica de 8 X 12 cms de 1/8"	un	1,000	\$ 3.900,00	\$ 3.900,00	454,000	\$ 1.770.600	4,64
	Torquimetro	dia	0,003	\$ 450.000,00	\$ 1.350,00	1,362	\$ 612.900	1,61
	Pulidora	dia	0,060	\$ 25.000,00	\$ 1.500,00	27,240	\$ 681.000	1,79
	Disco para pulidora	Un	0,030	\$ 25.000,00	\$ 750,00	13,620	\$ 340.500	0,89
	Grouting de alta fluidez	Kg	0,135	\$ 2.000,00	\$ 270,00	61,290	\$ 122.580	0,32
	Guía para taladros	un	0,008	\$ 220.000,00	\$ 1.760,00	3,632	\$ 799.040	2,09
	Formaleta de madera	ml	0,300	\$ 15.000,00	\$ 4.500,00	136,200	\$ 2.043.000	5,36
	Paral metálico	dia	1,365	\$ 150,00	\$ 205,00	619,710	\$ 93.070	0,24
	Planchón de 3 mts	ml	3,000	\$ 2.600,00	\$ 7.800,00	1.362,000	\$ 3.541.200	9,28
	Aislamiento de metales en neopreno	ml	1,600	\$ 1.000,00	\$ 1.600,00	726,400	\$ 726.400	1,90
	Detector de armaduras	dia	0,300	\$ 10.000,00	\$ 3.000,00	136,200	\$ 1.362.000	3,57
	Chazo de expansión de 3/8" x 3"	un	2,000	\$ 3.724,00	\$ 7.448,00	908,000	\$ 3.381.392	8,86
	Silicona para el sello del elemento de arriostre contra el ladrillo - para grouting fluido	tb	0,400	\$ 9.500,00	\$ 3.800,00	181,600	\$ 1.725.200	4,52
	Mano de Obra- reforzamiento de antepechos	hc	2,850	\$ 16.000,00	\$ 45.600,00	1.293,900	\$ 20.702.400	54,27
9.1.79	<b>Elemento de arriostre horizontal en platina 1/8" galvanizada ds=28 cms ( a modo de alfajía ), con perforaciones cada 52 cms</b>	ml	726,000		\$ 35.025	52.178,390	\$ 25.428.150	66,65
	platina 1/8" galvanizada ds=28 cms con perforaciones cada 52 cms	ml	1,000	\$ 32.100	\$ 32.100	726,000	\$ 23.304.600	61,09
	Tuercas	un	2,000	\$ 150	\$ 300	1.452,000	\$ 217.800	0,57
	Mano de Obra	hc	0,250	\$ 10.500	\$ 2.625	181,500	\$ 1.905.750	5,00

ITEM	DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR INSUMO	VR UNITARIO	CANTIDAD INSUMO	VR TOTAL	VALOR EN
9.1.74	<b>Reforzamiento de culatas de ladrillo (columneta 0,125 x 0,25 ) incluye corte muro y elaboración de caja</b>	ML	270,000		\$ 77.486		\$ 20.921.220	54,84
	Concreto fluido 4000 psi	m3	0,035	\$ 300.000	\$ 10.500	9,450	\$ 2.835.000	7,43
	Formaleta	m2	0,250	\$ 15.000	\$ 3.750	67,500	\$ 1.012.500	2,65
	Tabla chapa de 15 cms	ml	2,000	\$ 1.200	\$ 2.400	540,000	\$ 648.000	1,70
	ACPM	Gl	0,120	\$ 3.800	\$ 456	32,400	\$ 123.120	0,32
	Andamio	d	0,250	\$ 5.000	\$ 1.250	67,500	\$ 337.500	0,88
	Paral metálico	dia	0,900	\$ 1.500	\$ 1.350	243,000	\$ 364.500	0,96
	Puntilla	Lb	0,400	\$ 1.200	\$ 480	108,000	\$ 129.600	0,34
	Pulidora	dia	0,090	\$ 25.000	\$ 2.250	24,300	\$ 607.500	1,59
	Volqueta	Vj	0,020	\$ 75.000	\$ 1.500	5,400	\$ 405.000	1,06
	Disco para pulidora	Un	0,170	\$ 25.000	\$ 4.250	45,900	\$ 1.147.500	3,01
	Herramienta menor	gl	1,000	\$ 1.000	\$ 1.000	270,000	\$ 270.000	0,71
Mano de Obra	hc	4,600	\$ 10.500	\$ 48.300	1.242,000	\$ 13.041.000	34,18	
								0,00
	<b>Suministro de ventanería proyectante en aluminio (incluye vidrio incoloro)</b>	m2	2.790		\$ 95.185		\$ 265.566.150	696,11
	Marco de Aluminio	m2	1,000	\$ 34.600	\$ 34.600	\$ 2.790	\$ 96.534.000	253,04
	Batiente de aluminio	m2	1,000	\$ 29.400	\$ 29.400	\$ 2.790	\$ 82.026.000	215,01
	Accesorios y herrajes	Glb	1,000	\$ 8.000	\$ 8.000	\$ 2.790	\$ 22.320.000	58,51
	Elementos de fijación	Glb	1,000	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 2.790	\$ 6.975.000	18,28
	Vidrio incoloro 5 mm	m2	1,100	\$ 15.800	\$ 17.380	\$ 3.069	\$ 48.490.200	127,10
	Herramienta menor	gl	0,053	\$ 1.000	\$ 53	\$ 148	\$ 147.870	0,39
	Andamio	d	0,100	\$ 5.000	\$ 500	\$ 279	\$ 1.395.000	3,66
	Mano de Obra - instalación	hc	0,172	\$ 16.000	\$ 2.752	\$ 480	\$ 7.678.080	20,13
9.1.107	<b>Lavado e impermeabilización de fachada</b>	M2	2.900		\$ 10.985		\$ 31.856.500	83,50
	Ácido desmanchador (manchas de cemento)	Gl	0,067	\$ 15.000	\$ 1.000	193,333	\$ 2.900.000	7,60
	Rince restaurador tipo Ladribright	lt	0,230	\$ 7.500	\$ 1.725	667,000	\$ 5.002.500	13,11
	Bomba aspersora	dia	0,015	\$ 50.000	\$ 750	43,500	\$ 2.175.000	5,70
	Agua de carrotanque	Lt	30,000	\$ 12	\$ 360	87,000,000	\$ 1.044.000	2,74
	Herramienta menor	Gl	0,200	\$ 1.000	\$ 200	580,000	\$ 580.000	1,52
	Repelente de humedad tipo Hidrosil Ladrillo, o similar	Lt	0,230	\$ 10.000	\$ 2.300	667,000	\$ 6.670.000	17,48
	Mano de obra - cuadrilla de aplicación de hidrofugo	HC	0,200	\$ 15.000	\$ 3.000	580,000	\$ 8.700.000	22,80
	Mano de obra - lavado y restauración de fachada	HC	0,110	\$ 15.000	\$ 1.650	319,000	\$ 4.785.000	12,54
	<b>Protección temporal para aluminio y vidrio</b>	M2	1.580,000		\$ 2.860		\$ 4.518.800	11,84
	Rinse industrial para Protección de vidrios	Kg	0,033	\$ 3.500	\$ 115	51,914	\$ 181.700	0,48
	Pintura cascara para Protección de aluminio	gl	0,003	\$ 65.000	\$ 195	4,740	\$ 308.100	0,81
	Mano de obra - instalación de las protecciones	HC	0,080	\$ 15.000	\$ 1.200	126,400	\$ 1.896.000	4,97
	Mano de obra - retiro de la pintura cascara	HC	0,090	\$ 15.000	\$ 1.350	142,200	\$ 2.133.000	5,59
9.1.81	<b>Salvavidas de madera en el perímetro del edificio</b>	mes	6,500		\$ 2.347.350		\$ 15.257.775	39,99
	Planchón de 3 mts	ml	148,500	\$ 2.600	\$ 386.100	965,250	\$ 2.509.650	6,58
	Repisa de madera	ml	112,500	\$ 1.300	\$ 146.250	731,250	\$ 950.625	2,49
	Cercha metálica	dia	1.800,000	\$ 150	\$ 270.000	11.700,000	\$ 1.755.000	4,60
	Escalerilla para transporte vertical	dia	30,000	\$ 700	\$ 21.000	195,000	\$ 136.500	0,36
	Sistema de andamio colgante de fachada	dia	1.800,000	\$ 700	\$ 1.260.000	11.700,000	\$ 8.190.000	21,47
	Alambre Negro	Kg	6,000	\$ 2.000	\$ 12.000	39,000	\$ 78.000	0,20
	Mano de Obra	hc	24,000	\$ 10.500	\$ 252.000	156,000	\$ 1.638.000	4,29
	<b>Anclajes</b>	un	432,000		\$ 3.724,00		\$ 1.608.768,00	4,22
	Epóxico H(RE500) ó G5 ó similar	kg	0,015	\$ 180.000,00	\$ 2.700,00	6,480	\$ 1.166.400,00	3,06
	Broca	un	0,001	\$ 80.000,00	\$ 80,00	0,432	\$ 34.560,00	0,09
	Taladro	un	0,002	\$ 30.000,00	\$ 45,00	0,648	\$ 19.440,00	0,05
	Herramienta menor	gl	0,101	\$ 1.000,00	\$ 101,00	43,632	\$ 43.632,00	0,11
	Mano de Obra	hc	0,076	\$ 10.500,00	\$ 798,00	32,832	\$ 344.736,00	0,90

## 5.4 Caso 4 - IED Country Sur

### 5.4.1 Ficha de datos básicos del caso de estudio

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Institución Educativa Distrital Country Sur en Bogotá	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN ORIGINAL</b>		<b>CUADRO DE AREAS</b>	
Nombre	Institución Educativa Distrital Country Sur	Numero de Edificios	5
Dirección	Calle 31 No. 10-21 sur, de la ciudad de Bogota, Localidad 18.	Numero de pisos	2
Diseñador	No se tienen datos	Área de reforzamiento	3252 m <sup>2</sup>
Constructor	No se tienen datos	Área construida	1682 m <sup>2</sup>
Usos	Educación primaria y secundaria	Área de la FACHADA	1894 m <sup>2</sup>
Edificación	Sistema de pórticos de concreto reforzado, en un solo sentido, con columnas de 0.30x0.40. La cubierta está compuesta de teja ondulada de asbesto cemento, apoyada sobre correas, y estas a su vez apoyadas sobre vigas de concreto reforzado de 0.25 x0.36		
<b>DESCRIPCION DE LA FACHADA ORIGINAL</b>		<b>IMAGEN FACHADA ORIGINAL</b>	
Sistema Constructivo	Ladrillo prensado a la vista		
Materiales constitutivos	Ladrillo de arcilla, ventanería de lámina y vidrio		
Irregularidades en planta	Asimetría en el bloque 1		
Irregularidades en Altura	No se detectaron		
Aislamiento con la estructura	No se detectaron dilataciones		
		<p>Fuente: Consorcio Consultores SED</p>	
<b>REHABILITACION DE LA FACHADA</b>		<b>IMAGEN FACHADA REHABILITADA</b>	
Diseñador	Consorcio Consultores SED		
Constructor	Consorcio TDF		
Interventoría	Universidad Distrital		
Año	2006-2007		
Sistema Constructivo	Renovación de la totalidad de la FACHADA en los siguientes aspectos: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Demolición de la totalidad de muros</li> <li>- Reforzamiento de la estructura de concreto</li> <li>- Construcción de mampostería reforzada</li> </ul>		
		<p>Cambio por ventanería de aluminio y vidrio templado de seguridad</p> <p>Fuente: Consorcio TDF</p>	



### 5.4.2 Fichas de patología

<b>FICHA PATOLOGICA</b>	<b>CASO : Institución Educativa Distrital Country Sur en Bogotá</b>		
SINTOMATOLOGIA:	<b>MAMPOSTERIA SIN REFUERZO, EN PROCESO DE DESPRENDIMIENTO</b>		
UBICACIÓN:	En toda la edificación		
LESION	FISICAS	<b>X</b>	HUMEDAD
	QUIMICAS		DEFORMACION
	MECANICAS		EFLORESCENCIAS
	ALTERACIONES		APARICION DE EFECTOS SECUNDARIOS
	EROSION		DESPRENDIMIENTOS
			<b>X</b>
			GRIETA
			FISURA
			<b>X</b>
			OXIDACION
			CORROSION
			CAMBIOS DE NIVEL
			ORGANISMOS
			MUESTRA ANTERIOR
<b>DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA</b>			
Muros y enchapes de ladrillo en proceso de desprendimiento de la estructura de concreto			
Ausencia total de acero de refuerzo dentro de los muros			
<b>AUSCULTAMIENTO</b>			
Se hicieron levantamientos fotográficos, durante el proceso de demolición de los muros			
<b>DIAGNOSTICO</b>			
Los muros fueron construidos en mampostería de arcilla, quedando independientes de la estructura aporticada de concreto reforzado de la edificación, y sin ningún refuerzo interno. Esta condición le genera una alta vulnerabilidad, por la facilidad para perder el equilibrio ante las fuerzas de sismo.			
La ausencia de juntas de dilatación y de acero de refuerzo en antepechos y muros, de hasta 40 mts., en interacción con la estructura de concreto armado y sus deformaciones, son la causa probable de las dilataciones mostradas en la imagen			
<b>CAUSAS</b>			
Mampostería simple, sin acero de refuerzo, desvinculada de la estructura			
Las deformaciones de la estructura de concreto, introducen desprendimientos en los enchapes y ladrillos, por la falta de juntas de dilatación			
Ausencia de juntas de dilatación, verticales, en los antepechos que conforman grandes superficies de ladrillo			
Enchapes de ladrillos, soportados de varillas, no fijadas a la estructura			
<b>INTERVENCION</b>			
Los diseños de "Refuerzo Sísmico" incluyen el tratamiento, para elementos no estructurales, que se describen:			
a) Desmonte de las ventanas metálicas			
a) Demolición de muros de ladrillo			
c) Construcción de vigas y columnas, adosadas al exterior de la estructura de concreto original y ampliación de esta.			
d) Anclaje del acero de refuerzo para la nueva mampostería			
e) Levantar los nuevo muros, con mampostería estructural			
f) Llenado de las dovelas, de la mampostería estructural, con grouting			
g) Construcción de alfajía prefabricada			
h) Instalación de alfajía prefabricada, como viga de coronamiento de muro			
i) Lavado de los muros, con rinces especializados			
j) Impermeabilización del ladrillo de fachada			
k) Instalación de ventanas de aluminio, con vidrio templado, de seguridad			
<b>IMAGEN DE LA LESION</b>			
			
Imagen de muros de ladrillo, sin refuerzo. Fuente: Consorcio TDF		Detalle de la LESION	
Imagen de muros de ladrillo, sin refuerzo. Fuente: Consorcio TDF			

**FICHA PATOLOGICA CASO : Institución Educativa Distrital Country Sur en Bogotá**

SINTOMATOLOGIA: DESprendimientos de Pañetes

UBICACIÓN: En todos los entresijos

LESION	FISICAS	X	HUMEDAD	X		
	QUIMICAS		DEFORMACION		GRIETA	FISURA X
	MECANICAS		EFLORESCENCIAS		OXIDACION	CORROSION
	ALTERACIONES		APARICION DE EFECTOS SECUNDARIOS			CAMBIOS DE NIVEL
	EROSION		DESprendimiento	X	ORGANISMOS	MUESTRA ANTERIOR

**DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA**

Manchas de humedad y procesos de fisuración de los pañetes  
 Desprendimiento y caída de pañetes

**IMAGEN DE LA LESION**



Imagen de desprendimiento de pañetes de una canal a nivel de cubierta. Fuente: Consorcio TDF

**AUSCULTAMIENTO**

Se hicieron levantamientos fotográficos

**CAUSAS**

Se detectaron pañetes, sobre la estructura de concreto y la mampostería de hasta 7 cms. de espesor  
 No se dejaron dilataciones en pañete, sobre las ditaciones de estructura  
 Tampoco se dejaron, sobre los cambios de materiales  
 Falta de elementos de protección en el remate superior de muros

**DIAGNOSTICO**

Se debió demoler la totalidad de los pañetes de la envolvente

**INTERVENCION**


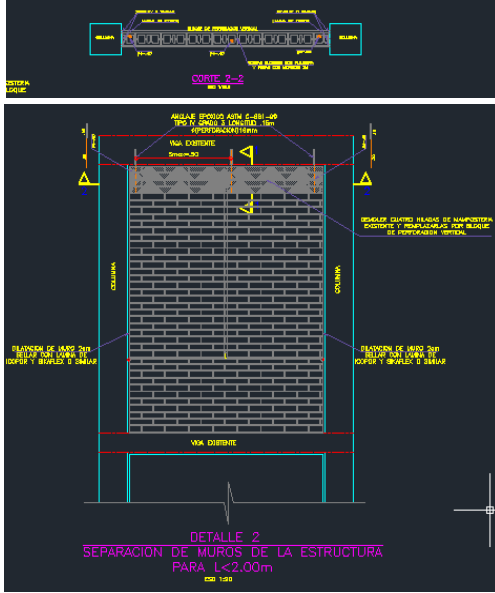
Se trabajaron los elementos estructurales: columnas, vigas y placas a la vista. La mampostería, también se dejó a la vista. No se hicieron pañetes, en ningún sitio de la envolvente

**DETALLE DE LA LESION**



Imagen del desprendimiento y espesor de los pañetes en una columna. Fuente: Consorcio TDF



FICHA DE ESTUDIO		CASO : Institución Educativa Distrital Country Sur en Bogotá	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN</b>		<b>CUADRO DE AREAS</b>	
Nombre	Institución Educativa Distrital Country Sur	Numero de Edificios	5
Dirección	Calle 31 No. 10-21 sur, de la ciudad de Bogotá, Localidad 18.	Numero de pisos	2
Diseñador	Consortio Consultores SED	Área de reforzamiento	3252 m2
Constructor	Consortio TDF	Área construida	1682 m2
Usos	Educación primaria y secundaria	Área de la envolvente	1894 m2
<b>SOLUCIÓN ESTRUCTURAL:</b>			
<b>Reforzamiento de culatas de ladrillo con columneta 0,125 x 0,25</b>		<b>IMAGEN DE LA REHABILITACIÓN</b>	
<p>Para hacer competente al muro, frente al efecto sísmico, se plantea aquí generar una fuerza perpendicular a su plano, a través del acero de refuerzo, previamente fijado a las vigas de borde de placas de entrepiso. Este es prolongado al interior de los muros usando ladrillo con perforación vertical, El acero horizontal esta conformado por malla tipo RAM</p> <p>Se instalaron láminas de icopor de 2 cms. de espesor , para aislar los muros de la estructura de concreto según se muestra en la imagen de la solución constructiva</p>		 <p>Imagen la solución constructiva, de la mampostería reforzada . Fuente: Consortio TDF</p>	
<b>PROCESO CONSTRUCTIVO</b>		<b>DETALLE DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>Desmonte de las ventanas metálicas</li> <li>Demolición de muros de ladrillo</li> <li>Construcción de vigas y columnas, adosadas al exterior de la estructura de concreto original y ampliación de esta.</li> <li>Anclaje del acero de refuerzo para la nueva mampostería</li> <li>Levantar los nuevo muros, con mampostería estructural</li> <li>Levantar los nuevo muros, con ladrillo con perforación vertical y colocación colocación de refuerzo de acero interno</li> <li>Llenado de las dovelas, de la mampostería estructural, con grouting</li> <li>Construcción viga de confinamiento en la parte superior del muro</li> <li>Enchape de la viga de confinamiento</li> <li>Lavado de los muros, con rinces especializados</li> <li>Impermeabilización del ladrillo de fachada</li> </ol> <p><b>Ventajas de la solución constructiva</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>La solución mejoró la estética de la envolvente, y garantiza su eficiencia ante el efecto sísmico</li> <li>La viga de confinamiento y el acero fijan el muro a la estructura</li> <li>La viga de confinamiento, queda oculta dentro de la mampostería</li> <li>Se ampliaron los espacios interiores de la edificación</li> </ol>		 <p>Imagen la solución constructiva, de la mampostería reforzada y viga de remate . Fuente: Consortio Consultores SED</p>	

### 5.4.4 Diseño de elementos no estructurales

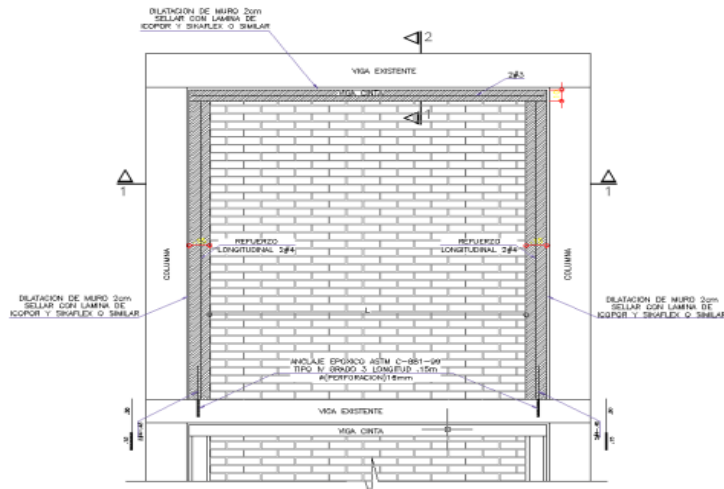


**CONSORCIO CONSULTORES SED**  
**CONTRATO SED 135**

**FICHA DE INFORMACIÓN**

<b>I.E.D COUNTRY SUR</b>		<b>CODIGO P.F</b> <b>1809</b>
<b>ETAPA DE DISEÑO:</b> REFORZAMIENTO	<b>AREA:</b> INGENIERIA	<b>DISEÑADOR:</b>

**DISEÑO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.**



Empuje sísmico sobre el muro.

Página 1

$$\begin{aligned}
 l &= 1.1 \\
 S_a &= 0.431 \\
 h &= 2.7 \text{ mts} \\
 F_p &= \frac{a_x \cdot a_p}{R_p} \cdot g \cdot M_p \geq \frac{A_a \cdot l}{2} \cdot g \cdot M_p \quad \text{(A.9-1)} \\
 a_p &= 1 \quad \text{A-9-2} \\
 g &= 9.8 \\
 R_p &= 3 \quad \text{A-9-4-2} \\
 M_p &= 877.5 \text{ KG} \quad \text{PARA MEDIO MURO. = 1.35 MTS.} \\
 a_x &= \frac{C_{vx} \cdot V_s}{m_x \cdot g} \leq 2 S_a \quad \text{(A.9-2)} \\
 C_{vx} &= 1 \\
 V_s &= 3706.4 \quad S_a \times g \times m_p \\
 a_x &= 0.431 \leq S_a \\
 F_p &= 1235.5 \text{ Kg} \\
 (A_a \times l / 2) \times g \times M_p &= 9459 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

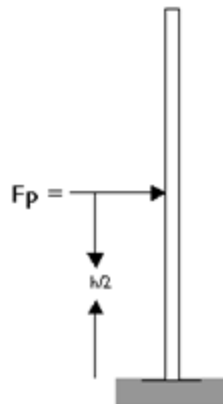


**CONSORCIO CONSULTORES SED**  
**CONTRATO SED 135**

**FICHA DE INFORMACIÓN**

<b>I.E.D COUNTRY SUR</b>		<b>CODIGO P.F</b> <b>1809</b>
<b>ETAPA DE DISEÑO:</b> REFORZAMIENTO	<b>AREA:</b> INGENIERIA	<b>DISEÑADOR:</b>

Diseño del elemento vertical.



<u>Sección transversal</u>	B =	15 cm
	T =	10 cm
Momento en la base =		17 Tn - m
k =		0.001111915
δ =		0.0033
As =		0.495
Usar 2 #3 =	1.42	cnt <sup>2</sup>

Diseño del elemento horizontal.

Página 2

**D.5.7.4 – RESISTENCIA A CORTANTE EN LA DIRECCIÓN PERPENDICULAR AL PLANO DEL MURO** – Se debe cumplir la siguiente condición con respecto a la fuerza cortante que actúa en la dirección perpendicular al plano del muro:

$$V_u \leq \phi V_n \quad (D.5-22)$$

donde:

$$V_n = \frac{1}{6} A_{mv} \sqrt{f'_m} \quad (D.5-23')$$

$A_{mv} =$	900 cnt <sup>2</sup>	Area efectiva para determinar esfuerzos cortantes.
$f'_m =$	1700 Kgf cnt <sup>2</sup>	Resistencia a compresión de la mampostería.
$V_n =$	6184.7	
$V_u =$	$F_p / h =$	457.5783333 g
$V_u < V_n$	ok	



### 5.4.5 Costos de reforzamiento

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Institución Educativa Distrital Country Sur en Bogotá					
DATOS DE LA EDIFICACIÓN				CUADRO DE AREAS Y COSTOS DE REHABILITACIÓN			
Diseñador	Consortio Consultores SED	Numero de pisos			2		
Constructor	Consortio TDF	Área por piso			1.626 m2		
Interventor	Universidad Distrital	Área construida			3.252 m2		
Año	2006-2007						
Área de las fachadas	2.155 m2	Costo de la rehabilitación	\$	280.870.054			
		Costo promedio	\$	130.334	m2		
		Costo promedio en SMMLV		0,30	SMMLV		
Área rehabilitada de mampostería	1.566 m2	Rehabilitación muros	\$	154.519.554			
		Costo promedio	\$	98.671	m2		
		Costo promedio en SMMLV		0,23	SMMLV		
Área rehabilitada de ventanería	589 m2	Rehabilitación ventanas	\$	126.350.500			
		Costo promedio	\$	214.517	m2		
		Costo promedio en SMMLV		0,49	SMMLV		

ITEM	DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VALOR INSUMO	VALOR UNITARIO	CANTIDAD INSUMO	VR TOTAL	VALOR EN SMMLV
1.3.10	<b>DEMOLICION MUROS TOLETE 0.25 CON R. SOB.</b>	m2	626		\$ 10.200	369.340,000	\$ 6.385.200	14,72
	Cuadrilla	jornal	0,080	\$ 79.000	\$ 6.320	47,200	\$ 3.728.800	8,60
	Volqueta	m3	0,380	\$ 10.000	\$ 3.800	224,200	\$ 2.242.000	5,17
	Herramienta menor	glb	0,080	\$ 1.000	\$ 80	47,200	\$ 47.200	0,11
1.3.9	<b>DEMOLICION MUROS TOLETE 0.12 CON R. SOB.</b>	un	939		\$ 7.500		\$ 7.042.497	16,24
	Cuadrilla	jornal	0,071	\$ 79.000	\$ 5.643	42,143	\$ 3.329.286	7,68
	Volqueta	m3	0,180	\$ 10.000	\$ 1.800	106,200	\$ 1.062.000	2,45
	Herramienta menor	glb	0,057	\$ 1.000	\$ 57	33,713	\$ 33.713	0,08
9.1.81	<b>PRENSADO LIVIANO</b>	M2	1.566,000	\$ 64.000	\$ 64.000		\$ 100.224.000	231,09
	Herramienta menor	ml	0,125	\$ 1.000	\$ 125	195,750	\$ 195.750	0,45
	Andamio Tubular	ml	1,000	\$ 500	\$ 500	1.566,000	\$ 783.000	1,81
	Tolete prensado	UN	90,300	\$ 504	\$ 45.511	141.409,800	\$ 71.270.539	164,33
	Mortero de 125 K/M2	LT	34,094	\$ 215	\$ 7.330	53.390,421	\$ 11.478.941	26,47
	Cuadrilla	jornal	0,133	\$ 79.000	\$ 10.534	78,669	\$ 16.495.770	38,03
5.5.3	<b>ACERO DE REFUERZO</b>		3.496		\$ 2.200		\$ 7.692.200	17,74
	Hierro figurado	KG	1,050	\$ 1.800	\$ 1.890	3.671,277	\$ 6.608.299	15,24
	Alambre	KG	0,032	\$ 2.050	\$ 66	111,887	\$ 229.367	0,53
	Cuadrilla	jornal	0,003	\$ 79.000	\$ 204	1,527	\$ 120.596	0,28
	Herramienta menor	glb	0,040	\$ 1.000	\$ 40	23,600	\$ 23.600	0,05
9.1.74	<b>MORTERO ESTRUCTURAL TIPO GROUT, PARA DOVELAS</b>	ML	1.456	\$ 4.231	\$ 4.231		\$ 6.161.923	14,21
	MORTERO ESTRUCTURAL TIPO GROUT	m3	0,006	\$ 300.000	\$ 1.920	9,321	\$ 2.796.240	6,45
	Herramienta menor	dia	0,100	\$ 1.000	\$ 100	23,786	\$ 23.786	0,05
	Cuadrilla	jornal	0,028	\$ 79.000	\$ 2.211	16,513	\$ 525.908	1,21
9.1.79	<b>ALFAJIA PREFABRICADA DE 0.30</b>	ml	238	\$ 40.000	\$ 40.000	52.178,390	\$ 9.514.400	21,94
	Concreto 3000 PSI gf	M3	0,031	\$ 260.000	\$ 8.190	7,493	\$ 1.948.073	4,49
	Testero borde 15	UN	1,000	\$ 3.000	\$ 3.000	237,860	\$ 713.580	1,65
	Soportes y distanciadores para el refuerzo	GL	1,000	\$ 1.000	\$ 1.000	237,860	\$ 237.860	0,55
	Herramienta menor	dia	0,152	\$ 1.000	\$ 152	36,041	\$ 36.041	0,08
	Formaleta entrepiso (Alquiler/dia)	dia	0,333	\$ 3.000	\$ 1.000	79,286	\$ 237.858	0,55
	Cuadrilla	jornal	0,337	\$ 79.000	\$ 26.658	199,095	\$ 6.340.988	14,62

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Institución Educativa Distrital Country Sur en Bogotá						
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN</b>			<b>CUADRO DE AREAS Y COSTOS DE REHABILITACIÓN</b>					
Diseñador	Consortio Consultores SED	Numero de pisos	2					
Constructor	Consortio TDF	Área por piso	1.626 m2					
Interventor	Universidad Distrital							
Año	2006-2007	Área construida	3.252 m2					
Área de las fachadas	2.155 m2	Costo de la rehabilitación	\$ 280.870.054					
		Costo promedio	\$ 130.334 m2					
		Costo promedio en SMMLV	0,30 SMMLV					
Área rehabilitada de mampostería	1.566 m2	Rehabilitación muros	\$ 154.519.554					
		Costo promedio	\$ 98.671 m2					
		Costo promedio en SMMLV	0,23 SMMLV					
Área rehabilitada de ventanería	589 m2	Rehabilitación ventanas	\$ 126.350.500					
		Costo promedio	\$ 214.517 m2					
		Costo promedio en SMMLV	0,49 SMMLV					
ITEM	DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VALOR INSUMO	VALOR UNITARIO	CANTIDAD INSUMO	VR TOTAL	VALOR EN SMMLV
9.1.79	<b>VIGA DE CONFINAMIENTO 0.10 x 0.12 m - ENCHAPADA</b>	ml	587	\$ 17.004	\$ 17.004	52.178,390	\$ 9.982.533	23,02
	Concreto 3000 PSI gf	M3	0,013	\$ 260.000	\$ 3.276	2,997	\$ 779.229	1,80
	Testero borde 15	UN	1,000	\$ 3.000	\$ 3.000	237,860	\$ 713.580	1,65
	Andamio Tubular	ml	1,000	\$ 500	\$ 500	1.566,000	\$ 783.000	1,81
	Tolete prensado	UN	14,000	\$ 504	\$ 7.056	21.924,000	\$ 11.049.696	25,48
	Herramienta menor	dia	0,150	\$ 1.000	\$ 150	35,679	\$ 35.679	0,08
	Cuadrilla	jornal	0,038	\$ 79.000	\$ 3.022	22,569	\$ 718.813	1,66
9.1.107	<b>LIMPIEZA IMPERMEABILIZACION DE FACHADAS</b>	M2	1.566	\$ 4.800	\$ 4.800		\$ 7.516.800	17,33
	Ácido desmanchador (manchas de cemento)	Gl	0,050	\$ 15.000	\$ 750	78,300	\$ 1.174.500	2,71
	Bomba aspersora	dia	0,002	\$ 50.000	\$ 100	3,132	\$ 156.600	0,36
	Agua de carrotanque	Lt	30,000	\$ 12	\$ 360	46.980,000	\$ 563.760	1,30
	Herramienta menor	Gl	0,020	\$ 1.000	\$ 20	31,320	\$ 31.320	0,07
	Repelente de humedad tipo Hidrosil Ladrillo, o similar	Lt	0,200	\$ 10.000	\$ 2.000	313,200	\$ 3.132.000	7,22
	Cuadrilla	jornal	0,020	\$ 79.000	\$ 1.570	11,725	\$ 373.440	0,86
								0,00
1.3.31	<b>DESMONTE VENTANAS Y VIDRIOS CON R. SOB.</b>	m2	590		\$ 10.000		\$ 5.900.000	13,60
	Cuadrilla	jornal	0,100	\$ 79.000	\$ 7.900	59,000	\$ 4.661.000	10,75
	Volqueta	m3	0,200	\$ 10.000	\$ 2.000	118,000	\$ 1.180.000	2,72
	Herramienta menor	glb	0,100	\$ 1.000	\$ 100	59,000	\$ 59.000	0,14
								0,00
								0,00
12.1.1.	<b>VENTANA FIJA (INCL. VIDRIO TEMPLADO DE 5MM)</b>	m2	589	\$ 204.500	\$ 204.500		\$ 120.450.500	277,73
	SUBCONTRATO T/C VENTANA FIJA (INCL. VIDRIO TEMPLADO DE 5MM)	GLOBAL	1,000	\$ 204.500	\$ 204.500	\$ 589	\$ 120.450.500	277,73

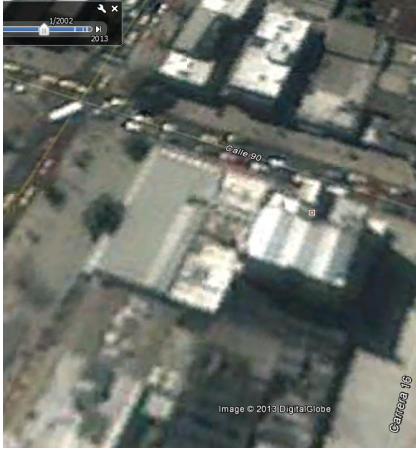



### 5.4.6 Seguimiento al Estado de las fachadas

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Institución Educativa Distrital Country Sur en Bogotá	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN</b>		<b>CUADRO DE AREAS</b>	
Nombre	Institución Educativa Distrital Country Sur	Numero de Edificios	5
Dirección	Calle 31 No. 10-21 sur, de la ciudad de Bogotá, Localidad 18.	Numero de pisos	2
Diseñador	Consortio Consultores SED	Área de reforzamiento	3252 m2
Constructor	Consortio TDF	Área construida	1682 m2
Usos	Educación primaria y secundaria	Área de la envolvente	1894 m2
<b>ESTADO ACTUAL DE LAS FACHADAS</b>		<b>IMAGEN DE LA FACHADA</b>	
<p><b>Eficiencia del sistema</b></p> <p>El comportamiento de la fachada fue satisfactorio durante los eventos sísmicos, de 5.5 grados y de 6,6 grados en la escala de Richter; registrados los días 25 de mayo de 2.008 y 10 de marzo de 2015, respectivamente. No se presentaron daños</p> <p>En la actualidad se registran algunas manchas de polución sobre las superficies de ladrillo de concreto, por que no se construyó ningún remate de muro</p>		 <p>Imagen actual de la fachada . Fuente: Propia</p>	
<b>ESTADO ACTUAL DE LAS FACHADAS</b>		<b>DETALLES DE LA FACHADA</b>	
<p>En la actualidad, la fachada de ladrillo esta en buen estado, solo se evidencian algunas zonas con eflorescencias producto de la lluvia ácida</p> <p><b>Recomendaciones</b></p> <p>Para evitar las eflorescencias en las superficies de ladrillo, se recomienda:</p> <p>A) Diseñar y construir remates de muro, sobresalientes a la fachada con dilataciones para controlar el goteo sobre los muros</p> <p>Para evitar las fisuraciones en las superficies de ladrillo, se recomienda:</p> <p>B) Hacer mantenimiento integral a las fachadas, emboquillados e impermeabilización de la fachada, como mínimo cada 10 años</p> <p>C) El lavado de los muros de ladrillo se debe hacer con rinces especializados evitando el uso de productos ácidos, con preparaciones artesanales para evitar erosión en la capa superficial del ladrillo</p> <p>E) Usar impermeabilizantes o repelentes de humedad, resistentes a la contaminación ambiental, en las cantidades indicadas por los fabricantes</p>		   <p>Imagenes actuales de la fachada . Fuente: Propia</p>	

## 5.5 Caso 5 - Central Telefónica ETB- Chicó

### 5.5.1 Ficha de datos básicos del caso de estudio


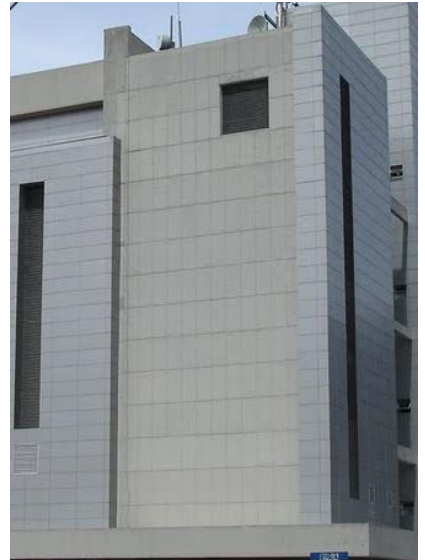
FICHA DE ESTUDIO		CASO : Central Telefónica Chicó, Empresa de Teléfonos de Bogotá ESP	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN ORIGINAL</b>		<b>CUADRO DE AREAS</b>	
Nombre	Central Telefónica Chicó de ETB ESP	Numero de Edificios	1
Dirección	Calle 90 15 60, de la ciudad de Bogotá, Localidad 2	Numero de pisos	5
Diseñador	No se tienen datos	Área de reforzamiento	6723 m2
Constructor	No se tienen datos	Área construida	6723 m2
Usos	Comunicaciones	Área de la envolvente	m2
Edificaciones	Conjunto de edificios compuesto por una torre de cinco pisos, donde están contenidos los equipos de la Central telefónica y una plataforma de dos pisos donde funcionan oficinas de atención al público y locales comerciales		
<b>DESCRIPCION DE LA ENVOLVENTE ORIGINAL</b>		<b>IMAGEN ENVOLVENTE ORIGINAL</b>	
Sistema Constructivo	Ladrillo a la vista		
Materiales constitutivos	Ladrillo a la vista, ventanería de lámina y vidrio		
Irregularidades en planta	No se detectaron		
Irregularidades en Altura	No se detectaron		
Aislamiento con la estructura	No se encontraron dilataciones		
<b>REHABILITACION DE LA ENVOLVENTE</b>		<b>IMAGEN ENVOLVENTE REHABILITADA</b>	
Diseñador			
Constructor	Ediobras Ltda		
Supervisor	Ing. Germán A. Chica Mora		
Año	2004 y 2005		
Aspectos constructivo	Rehabilitación integral de las edificaciones en los siguientes aspectos:		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reforzamiento de la estructura de concreto</li> <li>- Vinculación de los muros a la estructura</li> <li>- Enchapado de los muros con mallas electro soldadas y pañete proyectado</li> <li>- Aplicación de pintura acrílica, tipo Coraza, sobre pañete y sobre las pantallas de concreto a la vista</li> <li>- Instalación estructura de soporte para revestimiento</li> <li>- Instalación de revestimiento de aluminio y polietileno tipo Alucobond</li> <li>- Cambio de la ventanería antigua por aluminio y vidrio cristal</li> </ul>		
		Fuente: Ediobras Ltda	

Fuente: Google Earth, año 2002

### 5.5.2 Ficha de patología

<b>FICHA DE PATOLOGIA</b> <b>CASO : Central Telefónica Chicó, Empresa de Teléfonos de Bogotá ESP</b>																															
SINTOMATOLOGIA: <b>MAMPOSTERIA DE LADRILLO PRENSADO MACIZO, SIN REFUERZO</b>																															
UBICACIÓN: <u>En toda las fachadas de la edificación</u>																															
LESION	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>FISICAS</td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>HUMEDAD</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>QUIMICAS</td> <td></td> <td>DEFORMACION</td> <td></td> <td>GRIETA</td> <td>FISURA</td> </tr> <tr> <td>MECANICAS</td> <td></td> <td>EFLORESCENCIAS</td> <td></td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>CORROSION</td> </tr> <tr> <td>ALTERACIONES</td> <td></td> <td>APARICION DE EFECTOS SECUNDARIOS</td> <td></td> <td></td> <td>CAMBIOS DE NIVEL</td> </tr> <tr> <td>EROSION</td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>DESPRENDIMIENTOS</td> <td></td> <td>ORGANISMOS</td> <td>MUESTRA ANTERIOR</td> </tr> </table>	FISICAS	<input checked="" type="checkbox"/>	HUMEDAD				QUIMICAS		DEFORMACION		GRIETA	FISURA	MECANICAS		EFLORESCENCIAS		<input checked="" type="checkbox"/>	CORROSION	ALTERACIONES		APARICION DE EFECTOS SECUNDARIOS			CAMBIOS DE NIVEL	EROSION	<input checked="" type="checkbox"/>	DESPRENDIMIENTOS		ORGANISMOS	MUESTRA ANTERIOR
FISICAS	<input checked="" type="checkbox"/>	HUMEDAD																													
QUIMICAS		DEFORMACION		GRIETA	FISURA																										
MECANICAS		EFLORESCENCIAS		<input checked="" type="checkbox"/>	CORROSION																										
ALTERACIONES		APARICION DE EFECTOS SECUNDARIOS			CAMBIOS DE NIVEL																										
EROSION	<input checked="" type="checkbox"/>	DESPRENDIMIENTOS		ORGANISMOS	MUESTRA ANTERIOR																										
<p><b>DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA</b></p> <p>Deterioro generalizado de la fachadas de ladrillo, a nivel superficial caracterizada por meteorización y fisuración</p> <p>Corrosión de las ventanas de lámina</p> <hr/> <p><b>AUSCULTAMIENTO</b></p> <p>Se hicieron levantamientos fotográficos,</p> <hr/> <p><b>DIAGNOSTICO</b></p> <p>Deterioro y pérdida del "esmalte superficial" (producto del proceso de cocción del ladrillo)</p> <p>Micro- fisuración y gran porosidad superficial del ladrillo</p>	<p><b>IMAGEN DE LA FACHADA</b></p>  <p style="font-size: small;">Imagen de la fachada de ladrillo. Fuente: Ediobras Ltda.</p>																														
<p><b>CAUSAS PROBABLES DEL DAÑO EN LA SUPERFICIE DEL LADRILLO</b></p> <p>Están asociadas con practicas constructivas deficientes en el proceso de Lavado e impermeabilización de las fachadas de ladrillo a la vista.</p> <p>Uso no controlado de ácidos, como el muriático, en el proceso de lavado de fachadas y el retiro deficiente de los mismos, causan a largo plazo, deterioro progresivo y lesiones sobre la matriz arcillosa del ladrillo</p> <p>La excesiva humedad retenida y la deficiente impermeabilización causan:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Criptoeflorescencias, o cristalización de sales atrapadas dentro de la red capilar interior, que causan deterioro o desintegración del material, cuando hay contenidos de sulfato de sodio o sulfato de magnesio heptahidratado, a causa del aumento del volumen de las sales, con la cristalización</li> <li>2) Eflorescencias expansivas, de sulfato de magnesio o sulfato de calcio</li> </ol> <p><b>INTERVENCION</b></p> <p>La degradación superficial y de la matriz de ladrillo no es reversible ni recuperable, por lo que se opto por el reforzamiento con la técnica de fijar mallas electrosoldadas mediante anclajes con adhesivos epóxicos y pañete con mortero de cemento y arena.</p> <p>EL terminado se hizo con un revestimiento consistente en lamina de aluminio y polietileno montado en estructura de aluminio o con vinilo acrílico para exteriores</p>	<p><b>DETALLE DE LA LESION</b></p>  <p style="font-size: small;">Imagen de ladrillo con procesos de meteorización. Fuente: Ediobras Ltda.</p>																														

### 5.5.3 Reforzamiento con malla electro soldadas y pañete

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Central Telefónica Chicó, Empresa de Teléfonos de Bogotá ESP	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN ORIGINAL</b>		<b>CUADRO DE AREAS</b>	
Nombre	Central Telefónica Chicó de ETB ESP	Numero de Edificios	1
Dirección	Calle 90 15 60, de la ciudad de Bogotá, Localidad 2	Numero de pisos	5
Diseñador	No se tienen datos	Área de reforzamiento	6723 m2
Constructor	No se tienen datos	Área construida	6723 m2
Usos	Comunicaciones	Área de la FACHADA	m2
<b>SOLUCIÓN ESTRUCTURAL:</b>			
<b>REFORZAMIENTO CON MALLA ELECTROSOLDADA Y PAÑETE</b>			
<b>Descripción de la solución constructiva</b>			
La técnica de reforzamientos consiste en encamisar ambos lados de la mampostería con malla electro soldada, amarres de alambre, entre ambas y a la estructura de concreto. Pañete con mortero, en proporción 1:4 (cemento - arena fina) dilatado en dos direcciones.			
<b>PROCESO CONSTRUCTIVO</b>		<b>IMAGEN DE LA REHABILITACIÓN</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Desmonte de las ventanas metálicas</li> <li>2) Retiro de ladrillos rotos y lleno del vacío con concreto de gravilla fina</li> <li>3) Lleno de fisuras con mortero en proporción 1:3</li> <li>4) Recubrimiento de ambas superficies con mortero 1:4</li> <li>5) Perforación de muros con broca 1/2", a tres bolillos</li> <li>6) Instalación de malla electrosoldadas de 15 x 15 cms d= 4 mm</li> <li>7) Aplicación de pañete con mortero 1:4 de cemento y arena fina</li> <li>8) Hacer las dilataciones en mortero en módulos de 1,20 x 0,60 mts</li> <li>9) Resanes y remates</li> <li>10) Aplicación de dos manos de pintura acrílica para exteriores tipo Koraza</li> <li>11) Instalación de ventanas de aluminio y vidrio de seguridad</li> <li>12) Aplicación de mano final de pintura acrílica para exteriores tipo Koraza</li> </ol>		 <p>Imagen la solución constructiva, enchapado de los muros con malla electro soldada y pañete . Fuente: Ediobras Ltda</p>	
<b>REHABILITACION DE LA FACHADA</b>		<b>IMAGEN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA</b>	
<b>Descripción de la solución constructiva</b> Teniendo en cuenta que uno de los daños mas frecuentes de los muros de fachada acoplados a la estructura de concreto, es la fractura, este sistema de encamisado le da mayor ductilidad y le permite mantener la unidad estructural y reducir las fallas frías y explosivas producto de las cargas sísmicas		 <p>Imagen la solución constructiva, enchapado de los muros con malla electro soldada y pañete . Fuente: Ediobras Ltda</p>	
<b>Ventajas de la solución constructiva</b> a) Esta solución está avalada en la Norma NSR-10, como método de reforzamiento y de rehabilitación de mamposterías, b) La estructura de soporte de revestimiento contribuye al reforzamiento de la mampostería, junto con el encamisado de malla electrosoldada y mortero			
<b>Estado actual de la FACHADA</b> El comportamiento de la FACHADA fue satisfactorio durante el evento sísmico de 5.5 grados, del 24 de mayo de 2008. No se registraron daños importantes. Solo se registran algunas fisuras de pañete en algunos puntos localizados en la unión de las mamposterías con los elementos estructurales de concreto			



## 5.5.4 Reforzamiento con la estructura del revestimiento de aluminio y polietileno

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Central Telefónica Chicó, Empresa de Teléfonos de Bogotá ESP	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN ORIGINAL</b>		<b>CUADRO DE AREAS</b>	
Nombre	Central Telefónica Chicó de ETB ESP	Numero de Edificios	1
Dirección	Calle 90 15 60, de la ciudad de Bogotá, Localidad 2	Numero de pisos	5
Diseñador	No se tienen datos	Área de reforzamiento	6723 m2
Constructor	No se tienen datos	Área construida	6723 m2
Usos	Comunicaciones	Área de la envolvente	m2
<b>SOLUCIÓN ESTRUCTURAL:</b>			
<b>INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA DE ALUMINIO PARA REVESTIMIENTO DE ALUMINIO Y POLIETILENO</b>			
<b>Descripción de la solución constructiva</b>			
La técnica mixta consiste en encamisar ambos lados de la mampostería con malla electro soldada, recubrimiento con mortero, en proporción 1:4 y estructura de aluminio con revestimiento compuesto por paneles de aluminio y polietileno, tipo Alucobond.			
<b>PROCESO CONSTRUCTIVO</b>		<b>IMAGENES DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Desmonte de las ventanas metálicas</li> <li>2) Retiro de ladrillos rotos y lleno del vacío con concreto de gravilla fina</li> <li>3) Lleno de fisuras con mortero en proporción 1:3</li> <li>4) Recubrimiento de ambas superficies con mortero 1:4</li> <li>5) Perforación de muros con broca 1/2", a tres bolillos</li> <li>6) Instalación de malla electro soldadas de 15 x 15 cms d= 4 mm</li> <li>7) Aplicación de pañete con mortero 1:4 de cemento y arena fina</li> <li>8) Hacer las dilataciones en mortero en módulos de 1,20 x 0,60 mts</li> <li>9) Anclaje sistema de soporte del revestimiento de aluminio</li> <li>10) Instalación de los soportes de aluminio para soporte del revestimiento</li> <li>11) Instalación del revestimiento de aluminio y polietileno de 5 mm, Alucobond</li> <li>12) Instalación de ventanas de aluminio y vidrio de seguridad</li> <li>13) Retiro de película protectora del revestimiento</li> </ol>		<p>Detalle del sistema de fijación e instalación del revestimiento de aluminio Fuente: <a href="http://www.grupoflexius.com/nueva/03_servicios/instalación.html">www.grupoflexius.com/nueva/03_servicios/instalación.html</a></p>	
<b>REHABILITACION DE LA ENVOLVENTE</b>		<b>IMAGEN DE LA ENVOLVENTE REHABILITADA</b>	
<p><b>Aspectos de la solución constructiva</b></p> <p>El sistema de revestimiento arquitectónico, posee un sistema estructural compuesto por clips de anclaje, perfil metálico tipo canal, clip de soporte y panel de aluminio con núcleo de polietileno. Este sistema estructural dúctil, coadyuva a solucionar la fragilidad de los muros de ladrillo, junto con el encamisado con malla - pañete. Ambos sistemas permiten mantener la unidad estructural de la fachada, ayudando a reducir las fallas frágiles y explosivas producto de las cargas sísmicas.</p> <p>Otras propiedades adicionales del revestimiento con paneles compuestos son:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) la superficie de aluminio permite acabados naturales, anodizados, de poliéster, Monocromáticos, Micas, Metalizados, PVDF, FEVE y otros</li> <li>b) El núcleo de polietileno es un retardante al fuego</li> <li>c) Resistente a la intemperie y permite instalar aislamientos térmicos y acústicos</li> <li>d) La estructura compuesta asegura, una relación impresionante de peso y resistencia a la flexión</li> <li>e) Amortigua las vibraciones</li> </ol> <p><b>Ventajas de la solución constructiva</b></p> <p>La estructura de aluminio del revestimiento contribuye al reforzamiento de la mampostería, junto con el encamisado de malla electro soldada y mortero.</p> <p><b>Estado actual de la envolvente</b></p> <p>El comportamiento de la envolvente fue satisfactorio durante el evento sísmico, de 5.5 grados, del 24 de mayo de 2008. No se registraron daños.</p>		<p>Fuente: Edibras Ltda.</p>	

## 5.5.5 Costos de Reforzamiento



CASO : Central Telefónica Chicó, Empresa de Teléfonos de Bogotá ESP								
DATOS DE LA EDIFICACIÓN				CUADRO DE AREAS Y COSTOS DE REHABILITACIÓN				
Diseñador				Numero de pisos		5		
Constructor	Ediobras Ltda			Área por piso		1.345	m2	
Supervisor	Ing. Germán A. Chica Mora			Área construida		6.723	m2	
Año	2004-2005			Costo de la rehabilitación	\$	441.899.746		
Área de la envolvente	2.174 m2			Costo promedio	\$	203.256	/m2	
Área rehabilitada de mampostería	1.913 m2			Costo promedio en SMMLV		0,53	SMMLV	
				Rehabilitación muros	\$	48.730.881		
				Costo promedio	\$	25.474	/m2	
Área rehabilitada de ventanería	261 m2			Costo promedio en SMMLV		0,07	SMMLV	
				Rehabilitación ventanas	\$	82.057.925		
				Costo promedio	\$	314.278	/m2	
Área rehabilitada de revestimiento	1.330 m2			Costo promedio en SMMLV		0,82	SMMLV	
				Rehabilitación de revestimien	\$	311.110.940		
				Costo promedio	\$	233.918	/m2	
				Costo promedio en SMMLV		0,61	SMMLV	

ITEM	DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VALOR INSUMO	VALOR UNITARIO	CANTIDAD INSUMO	VR TOTAL	VALOR EN SMMLV
3.30	Malla electrosoldada en muros de fachada	Kg	5.605		\$ 2.078		\$ 11.647.377	30,53
	Malla electrosoldada M-084 4 mm de 15 x 15	Kg	1,000	\$ 1.385	\$ 1.385	5.605,090	\$ 7.763.050	20,35
	Andamio - sección	día	0,002	\$ 5.000	\$ 11	12,331	\$ 61.656	0,16
	Herramienta menor	gl	0,050	\$ 1.000	\$ 50	280,255	\$ 280.255	0,73
	Broca 5/8" L=12"	un	0,001	\$ 127.333	\$ 127	5,605	\$ 713.715	1,87
	Taladro con control de velocidad	día	0,001	\$ 45.000	\$ 45	5,605	\$ 252.229	0,66
	Alambron de amarre	kg	0,090	\$ 1.705	\$ 153	504,458	\$ 860.101	2,25
	Mano de Obra	hc	0,029	\$ 10.500	\$ 306	163,464	\$ 1.716.372	4,50
7.1	Pañete Interior	m2	1.913		\$ 9.045	52.178,390	\$ 17.303.085	45,36
	Cemento gris	Kg	14,130	\$ 350	\$ 4.946	27.030,690	\$ 9.460.742	24,80
	Arena de peña	m3	0,030	\$ 15.000	\$ 450	57,390	\$ 860.850	2,26
	Mano de Obra	hc	0,348	\$ 10.500	\$ 3.650	664,904	\$ 6.981.494	18,30
7.4	Pañete de fachada	m2	1.913		\$ 10.340	52.178,390	\$ 19.780.419	51,85
	Cemento gris	Kg	14,130	\$ 350	\$ 4.946	27.030,690	\$ 9.460.742	24,80
	Arena de peña	m3	0,030	\$ 15.000	\$ 450	57,390	\$ 860.850	2,26
	Andamio	d	0,050	\$ 5.000	\$ 250	7	\$ 478.250	1,25
	Mano de Obra	hc	0,447	\$ 10.500	\$ 4.694	855,293	\$ 8.980.577	23,54
8.12	Pintura acrílica para Fachada Acrisello gris puente	M2	583		\$ 8.621	52.178,390	\$ 5.026.043	13,17
	Pintura acrisello gris de Toxement	Kg	0,497	\$ 10.500	\$ 5.223	951,581	\$ 3.045.009	7,98
	Herramienta menor	Gl	0,100	\$ 1.000	\$ 100	191,300	\$ 58.300	0,15
	Cinta de enmascarar	rollo	0,020	\$ 4.900	\$ 98	38,260	\$ 57.134	0,15
	Mano de obra - cuadrilla de pintura	Hc	0,200	\$ 16.000	\$ 3.200	382,600	\$ 1.865.600	4,89

ITEM	DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VALOR INSUMO	VALOR UNITARIO	CANTIDAD INSUMO	VR TOTAL	VALOR EN SMMLV
11.7	<b>S.E.I. ventanería de aluminio y vidrio de 5mm</b>	m2	135	\$ 151	\$ 150.309		\$ 20.306.746	53,23
	Marco de Aluminio	m2	1,000	\$ 54.600	\$ 54.600	\$ 135	\$ 7.376.460	19,34
	Batiente de aluminio	m2	1,000	\$ 57.404	\$ 57.404	\$ 135	\$ 7.755.280	20,33
	Accesorios y herrajes	Glb	1,000	\$ 9.000	\$ 9.000	\$ 135	\$ 1.215.900	3,19
	Elementos de fijación	Glb	1,000	\$ 2.500	\$ 2.500	\$ 135	\$ 337.750	0,89
	Vidrio incoloro 5 mm	m2	1,100	\$ 19.800	\$ 21.780	\$ 149	\$ 2.942.478	7,71
	Herramienta menor	gl	0,053	\$ 1.000	\$ 53	\$ 7	\$ 7.160	0,02
	Andamio	d	0,100	\$ 5.000	\$ 500	\$ 14	\$ 67.550	0,18
	Mano de Obra - instalación	hc	0,172	\$ 26.000	\$ 4.472	\$ 23	\$ 604.167	1,58
11.36	<b>S.E.I. Fachada en panel de aluminio compuesto tipo Alucobond o equivalente</b>	m2	1.330		\$ 233.918		\$ 311.110.940	815,49
	Panel de aluminio compuesto tipo Alcopla o equivalente	m2	1,000	\$ 93.500	\$ 93.500	1.330,000	\$ 124.355.000	325,96
	Clip ajustable para fijación a paneles	un	3,340	\$ 5.950	\$ 19.873	4.442,200	\$ 26.431.090	69,28
	Canal soporte drenaje	ml	1,670	\$ 13.850	\$ 23.130	2.221,100	\$ 30.762.235	80,63
	Clip de soporte paneles	Gl	3,340	\$ 3.800	\$ 12.692	4.442,200	\$ 16.880.360	44,25
	Andamio - sección	día	0,320	\$ 5.000	\$ 1.600	1.793,629	\$ 8.968.144	23,51
	Elementos de fijación	gl	1,000	\$ 3.324	\$ 3.324	1.330,000	\$ 4.420.255	11,59
	Mano de Obra	hc	7,600	\$ 10.500	\$ 79.800	10.108,000	\$ 106.134.000	278,20
	11.37	<b>S.E.I. Fachada en vidrio templado de 10 mms</b>	m2	126		\$ 377.601		\$ 47.577.775
Vidrio templado incoloro 10 mms		m2	1,000	\$ 189.500	\$ 189.500	1.330,000	\$ 23.877.000	62,59
Andamio - sección		día	3,100	\$ 5.000	\$ 15.500	17.375,779	\$ 1.953.000	5,12
Elementos de fijación		gl	1,000	\$ 69.701	\$ 69.701	1.330,000	\$ 8.782.375	23,02
Mano de Obra		hc	9,800	\$ 10.500	\$ 102.900	13.034,000	\$ 12.965.400	33,99
11.38	<b>S.E.I. Cortasol en aluzinc</b>	m2	170,20		\$ 83.275		\$ 14.173.405	37,15
	Cortasol en Aluzinc	m2	1,000	\$ 61.150	\$ 61.150	1.330,000	\$ 10.407.730	27,28
	Andamio - sección	día	0,800	\$ 5.000	\$ 4.000	4.484,072	\$ 680.800	1,78
	Elementos de fijación	gl	1,000	\$ 5.000	\$ 5.000	1.330,000	\$ 851.000	2,23
	Mano de Obra	hc	1,250	\$ 10.500	\$ 13.125	1.662,500	\$ 2.233.875	5,86

### 5.5.6 Seguimiento al Estado de las fachadas

FICHA DE PATOLOGIA CASO: Central Telefónica Chicó, Empresa de Teléfonos de Bogotá ESP								
SINTOMATOLOGIA:		<b>LESIONES EN EL PAÑETE DE MUROS</b>						
UBICACIÓN:		Uniones entre los muros y la estructura						
LESION	FISICAS	X	HUMEDAD		GRIETA	X	FISURA	X
	QUIMICAS		DEFORMACION		OXIDACION		CORROSION	
	MECANICAS		EFLORESCENCIAS				CAMBIOS DE NIVEL	
	ALTERACIONES		APARICION DE EFECTOS SECUNDARIOS					
	EROSION		DESPRENDIMIENTOS		ORGANISMOS		MUESTRA ANTERIOR	
<b>DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA</b>				<b>IMAGEN DE LA FACHADA</b>				
Aparición de fisuras y craquelados en los pañetes que recubren las mallas Electrosoldadas								
Fisuras horizontales sobre los pañetes y mallas electrosoldadas								
<b>AUSCULTAMIENTO</b>								
Se hizo registro fotográfico								
<b>DIAGNOSTICO</b>								
Durante la inspección visual al estado de las fachadas se detectaron fisuras, de diferentes espesores y profundidades que evidencian daño en el pañete. Las fisuras horizontales, marcan el sitio de unión, entre la placa de entrepiso y la mampostería de ladrillo, que se refleja sobre el pañete.								
<b>CAUSAS PROBABLES DEL DAÑO EN EL PAÑETE</b>				<b>DETALLE DE LA LESION</b>				
<p>Las fallas pueden estar asociadas con prácticas constructivas deficientes en el proceso de aplicación del mortero de pañete sobre los muros de ladrillo fachada y al empleo de arenas con alto contenido de arcillas, que se evidencian en los craquelados sobre la superficie de los pañetes.</p> <p>Las fisuras horizontales, que reflejan el sitio de unión, entre la placa de entrepiso y la mampostería de ladrillo, se debe a las diferencias de rigidez y densidad de ambos elementos. Las fisuras se hacen más evidentes por el efecto sísmico y por el comportamiento elástico diferente entre la estructura de concreto y los elementos no estructurales.</p> <p>Se aprecia una fisura en diagonal, sobre la esquina de un vano, que aloja una rejilla de ventilación, junto con dos fisuras verticales de menor longitud y profundidad, que muestran una falla moderada del muro de primer piso.</p> <p>La falla pudo ser originada por el movimiento sísmico, de 5.5 grados, del 24 de mayo de 2008.</p> <p>Pese a los daños, el comportamiento de la FACHADA fue satisfactorio durante el evento sísmico y posteriores, por cuanto no se registraron daños importantes, ni desprendimientos de elementos de fachada. La Central telefónica no ha visto interrumpidas sus operaciones, por esta circunstancia.</p>								
				Detalle de las lesiones de fachada. Fuente: Propia				



## 5.6 Caso 6 - CED Gustavo Restrepo Sede A

### 5.6.1 Ficha de datos básicos del caso de estudio



REHABILITACIÓN DE FACHADAS ARQUITECTÓNICAS DE EDIFICACIONES, CONSTRUIDAS EN COLOMBIA, ANTES DE LA EXPEDICIÓN DE LA NORMA NSR-10



**FICHA DE ESTUDIO CASO : Institución Educativa Distrital Gustavo Restrepo, Sede A, en Bogotá**

DATOS DE LA EDIFICACIÓN ORIGINAL		CUADRO DE AREAS	
Nombre	Institución Educativa Distrital Gustavo Restrepo, sede A	Numero de Edificios	3
Dirección	Calle 28 sur No 14-51, de la ciudad de Bogotá, Localidad 18	Numero de pisos	2
Diseñador	No se tienen datos	Área de reforzamiento	3918 m2
Constructor	No se tienen datos	Área construida	39 m2
Usos	Educación primaria y secundaria	Área de la FACHADA	2425 m2
Edificaciones	La intervención se hizo sobre 3 edificios independientes, que conforman un patio central; 2 edificios de aulas y uno administrativo. Los edificios de aulas del mismo tipo, con difente orientación: son simétricos, planta cuadrada, con un patio central y de dos pisos. Construidos con estructuras de concreto armado, tipo aporticada, con placas aligeradas y estructura metalica de cubierta. Las fachadas fueron construidas con muros de ladrillo tolete macizo, revistiendo completamente la estructura. Ventanería metalica y vidrios crudos		

**DESCRIPCION DE LA FACHADA ORIGINAL**

Sistema Constructivo	Ladrillo prensado a la vista
Materiales constitutivos	Ladrillo de arcilla, ventanería de lámina y vidrio
Irregularidades en planta	No se detectaron
Irregularidades en Altura	No se detectaron
Aislamiento con la estructura	No se encontraron dilataciones

**IMAGEN FACHADA ORIGINAL**

Fuente: Consorcio Gustavo Restrepo 2006




**REHABILITACION DE LA FACHADA**

Diseñador	Consorcio Consultores SED
Constructor	Consorcio Gustavo Restrepo 2006
Interventoría	Universidad Distrital
Año	2007 y 2008
Aspectos constructivo	Rehabilitación integral de las edificaciones en los siguientes aspectos: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reforzamiento de la estructura de concreto</li> <li>- Vinculación de los muros a la estructura</li> <li>- Demolición muros de balcones</li> <li>- Reforzamiento de los muros de fachada</li> <li>- Cambio de la ventanería antigua por aluminio y vidrio templado de seguridad</li> <li>- Recuperación de las fachadas, con el retiro de pinturas, lavado del ladrillo con rinces esp. y aplicación de repelente de humedad</li> </ul>

**IMAGEN FACHADA REHABILITADA**

Fuente: de <http://proyectosgustavinostic.webnode.es/album/prevencion-y-desastres/gedc0679-jpg>

## 5.6.2 Fichas de patología

FICHA PATOLOGICA		CASO : Institución Educativa Distrital Gustavo Restrepo, Sede A, en Bogotá																													
SINTOMATOLOGIA: <b>MAMPOSTERIA SIN REFUERZO, EN PROCESO DE DESPRENDIMIENTO</b>																															
UBICACIÓN: <u>En toda la edificación</u>																															
<table border="1"> <tr> <td rowspan="5">LESION</td> <td>FISICAS</td> <td>X</td> <td>HUMEDAD</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>QUIMICAS</td> <td></td> <td>DEFORMACION</td> <td>GRIETA</td> <td>X FISURA</td> </tr> <tr> <td>MECANICAS</td> <td></td> <td>EFLORESCENCIAS</td> <td>OXIDACION</td> <td>CORROSION</td> </tr> <tr> <td>ALTERACIONES</td> <td></td> <td>APARICION DE EFECTOS SECUNDARIOS</td> <td></td> <td>CAMBIOS DE NIVEL</td> </tr> <tr> <td>EROSION</td> <td></td> <td>DESPRENDIMIENTOS</td> <td>X ORGANISMOS</td> <td>MUESTRA ANTERIOR</td> </tr> </table>						LESION	FISICAS	X	HUMEDAD			QUIMICAS		DEFORMACION	GRIETA	X FISURA	MECANICAS		EFLORESCENCIAS	OXIDACION	CORROSION	ALTERACIONES		APARICION DE EFECTOS SECUNDARIOS		CAMBIOS DE NIVEL	EROSION		DESPRENDIMIENTOS	X ORGANISMOS	MUESTRA ANTERIOR
LESION	FISICAS	X	HUMEDAD																												
	QUIMICAS		DEFORMACION	GRIETA	X FISURA																										
	MECANICAS		EFLORESCENCIAS	OXIDACION	CORROSION																										
	ALTERACIONES		APARICION DE EFECTOS SECUNDARIOS		CAMBIOS DE NIVEL																										
	EROSION		DESPRENDIMIENTOS	X ORGANISMOS	MUESTRA ANTERIOR																										
<b>DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA</b>			<b>IMAGEN DE LA LESION</b>																												
<p>Agrietamiento y proceso de desprendimiento de los muros de ladrillo de la estructura de concreto</p> <p>Ausencia total de acero de refuerzo dentro de los muros</p>																															
<b>AUSCULTAMIENTO</b>																															
Se hicieron levantamientos fotográficos, durante el proceso de demolición de los muros																															
<b>DIAGNOSTICO</b>																															
<p>La ausencia de acero de refuerzo y de juntas de dilatación en los muros de ladrillo, de hasta 26 mts de long. Por 5 de altura., sin ningún amarre a la estructura aporticada de concreto y sus deformaciones, son la causa probable de los agrietamientos mostrados en la imagen</p> <p>Esta condición le genera una alta vulnerabilidad, por el estado de deterioro y la facilidad para perder el equilibrio ante las fuerzas de viento o de sismo.</p>																															
<b>CAUSAS</b>			<b>DETALLE DE LA LESION</b>																												
<p>Mampostería simple, sin acero de refuerzo, desvinculada de la estructura</p> <p>Las deformaciones de la estructura de concreto, introducen desprendimientos en los enchapes y ladrillos, por la falta de juntas de dilatación</p> <p>Ausencia de juntas de dilatación, verticales, en los antepechos que conforman grandes superficies de ladrillo</p>																															
<b>INTERVENCION</b>																															
<p>Los diseños de "Refuerzo Sísmico" incluyen el tratamiento, para elementos no estructurales, que se describen:</p> <p>a) Desmonte de las ventanas metálicas</p> <p>a) Demolición de muros de ladrillo</p> <p>c) Reforzamiento de la estructura de concreto</p> <p>d) Anclaje del acero de refuerzo para la nueva mampostería</p> <p>e) Levantar los nuevos muros, con mampostería reforzada</p> <p>f) Llenado de las dovelas, de la mampostería estructural, con grouting</p> <p>g) Construcción vigas cintas de remate de la mampostería</p> <p>h) Reforzamiento de los muros de antepecho a nivel de cubiertas</p> <p>i) Lavado de los muros, con rinces especializados</p> <p>j) Impermeabilización del ladrillo de fachada</p> <p>k) Instalación de ventanas de aluminio, con vidrio templado, de seguridad</p>			<p>Imagen de muros de ladrillo, afectados. Fuente: Interventoría de la Universidad Distrital F.J. de C.</p>																												

**FICHA PATOLOGICA CASO : Institución Educativa Distrital Gustavo Restrepo, Sede A, en Bogotá**

SINTOMATOLOGIA: **DEFORMACIÓN DE LAS PLACAS Y FISURACIÓN DE LOS MUROS DE LOS BALCONES**

UBICACIÓN: En los segundos pisos bloques 2 y 2A

LESION	FISICAS	X	HUMEDAD			
	QUIMICAS		DEFORMACION		GRIETA	X
	MECANICAS		EFLORESCENCIAS		OXIDACION	
	ALTERACIONES		APARICION DE EFECTOS SECUNDARIOS		CORROSION	
	EROSION		DESPRENDIMIENTO	X	ORGANISMOS	
					CAMBIOS DE NIVEL	
					MUESTRA ANTERIOR	X

**DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA**

Deformación de la placa de entrepiso, en voladizo, en la zona del balcón  
 Desprendimiento de los muros de ladrillo

**IMAGEN DE LA LESION**



Imagen de la deformación de la placa, en la zona del balcón .  
 Fuente: Interventoría de la Universidad Distrital F.J. de C.

**AUSCULTAMIENTO**

Se hicieron levantamientos fotográficos

**CAUSAS**

Deformación de la placa, por efectos del voladizo y el peso de los muros y pisos en la zona del balcón  
 No de dejaron amarres entre los muros del edificio y el balcón  
 Tampoco se dejaron dilataciones en los muros de ladrillo  
 Falta de elementos de soporte en la parte superior de muros

**DETALLE DE LA LESION**



Imagen de muros de ladrillo, afectados. Fuente: Interventoría de la Universidad Distrital F.J. de C.

**DIAGNOSTICO**

Se debió demoler los muros y pisos del balcón para liberar de esta carga a los elementos estructurales

**INTERVENCION**

Se eliminó el uso del balcón y se dejaron las vigas y viguetas de la placa a modo de pérgolas, a la entrada de los bloques 2 y 2A  
 Se trataron las superficies de las vigas con morteros de reparación y pintura acrílica par a exteriores

### 5.6.3 Recalce de muros con concreto reforzado

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Institución Educativa Distrital Gustavo Restrepo, Sede A, en Bogotá	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN</b>		<b>CUADRO DE AREAS</b>	
Nombre	Institución Educativa Distrital Gustavo Restrepo, sede A	Numero de Edificios	3
Dirección	Calle 28 sur No 14-51, de la ciudad de Bogotá, Localidad 18	Numero de pisos	2
Diseñador	Consortio Consultores SED	Área de reforzamiento	3918 m <sup>2</sup>
Constructor	Consortio Gustavo Restrepo 2006	Área construida	39 m <sup>2</sup>
Interventor	Universidad Distrital	Área de la envolvente	2425 m <sup>2</sup>
Usos	Educación primaria y secundaria		
<b>SOLUCIÓN ESTRUCTURAL</b>			
<b>Recalce de mros con pantallas de concreto reforzado</b>			
<b>Descripción de la solución estructural</b>		<b>IMAGEN DE LA REHABILITACIÓN</b>	
<p>Para hacer competente a la envolvente , frente al efecto sísmico, se aprovechan las doce pantallas de concreto en el perímetro del edificio, que hacen parte del reforzamiento de la estructura, para vincular a estas, los muros de fachada existentes, mediante el uso de anclajes epoxicos al muro a 60 cm al fundir las pantallas los muros se usan como formaleta, quedando adosados a las pantallas de concreto</p>  <p>PLANTA 200 PISO BLOQUE 2A Y 2B</p>			
Planta del entrespacio - ubicación de las pantallas . Fuente: Consortio Consultores SED		Imagen la solución constructiva, de la mampostería reforzada . Fuente: Interventoría Universidad Distrital F.J. de C.	
<b>REHABILITACION DE LA FACHADA</b>			
<b>Proceso constructivo de rehabilitación</b>			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Desmonte de las ventanas metálicas</li> <li>2) Demolición de muros interiores y perforación de placas y pisos</li> <li>3) Excavación manual, hasta el nivel de cimentación,</li> <li>4) Recalce de la cimentación, dejando el acero de las pantallas</li> <li>5) Anclaje del acero de refuerzo a la mampostería antigua</li> <li>6) Amarre del acero de refuerzo de las pantallas de concreto</li> <li>7) Cambio de los ladrillos en mal estado</li> <li>8) Fundida de los muros pantallas, adheridos al muro de fachada</li> <li>9) Construcción de los muros de antepecho, parcialmente reforzados</li> <li>10) Corrección de los emboquillados de las juntas de mortero en los muros</li> <li>11) Lavado de los muros de ladrillo, con rinces especializados</li> <li>12) Impermeabilización del ladrillo de fachada</li> </ol>			
<b>Ventajas de la solución constructiva</b>			
<ol style="list-style-type: none"> <li>A) Se conservan los muros originales de la edificación, sin afectar la estética original de la fachada</li> <li>B) Se garantiza la estabilidad de los muros y se previenen nuevas fisuras</li> <li>C) Las pantallas de concreto reforzado, quedan oculta dentro de la mampostería</li> <li>D) Se mantiene los espacios interiores de la edificación</li> <li>E) Se aprovecharon los nichos existentes, para alojar las pantallas de concreto</li> <li>F) Las pantallas de concreto rigidizan la estructura</li> </ol>			
		<b>DETALLE DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA</b>	
		 <p>Concreto reforzado Anclaje, epoxico inyectado en los huecos taladrados</p>	
		Imagen la solución constructiva, de la mampostería reforzada y viga de remate . Fuente: Consortio Consultores SED	



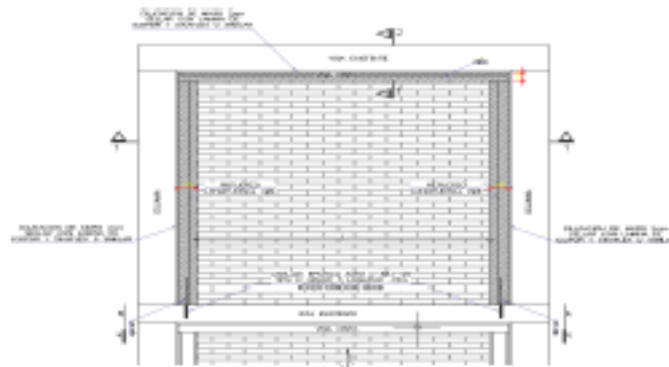
### 5.6.4 Confinamiento de mampostería con columnetas y vigas cinta de concreto

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Institución Educativa Distrital Gustavo Restrepo, Sede A, en Bogotá	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN</b>		<b>CUADRO DE AREAS</b>	
Nombre	Institución Educativa Distrital Gustavo Restrepo, sede A	Numero de Edificios	3
Dirección	Calle 28 sur No 14-51, de la ciudad de Bogotá, Localidad 18	Numero de pisos	2
Diseñador	Consortio Consultores SED	Área de reforzamiento	3918 m2
Constructor	Consortio Gustavo Restrepo 2006	Área construida	39 m2
Interventor	Universidad Distrital	Área de la envolvente	2425 m2
Usos	Educación primaria y secundaria		
<b>SOLUCIÓN ESTRUCTURAL:</b>		<b>IMAGEN DE LA REHABILITACIÓN</b>	
<b>Confinamiento de mampostería con columnetas y vigas cinta de concreto</b>		 <p>Imagen la solución constructiva, de la mampostería reforzada y alfajía prefabricada . Fuente: Consortio TDF</p>	
<p>Para hacer competente al muro, frente al efecto sísmico, se planteo la renovación de los muros de ladrillo de ladrillo a nivel de la cubierta y confinar los antepechos con vigas de coronamiento y columnetas de concreto colocadas al interior del muro, ancladas a las vigas de borde de las placas La viga de confinamiento (alfajía concreto), repartirá el esfuerzo del muro</p>			
<b>PROCESO CONSTRUCTIVO</b>		<b>DETALLE DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Desmonte de las ventanas metálicas</li> <li>2) Demolición de muros de ladrillo</li> <li>3) Demolición de los recubrimientos, inferior y superior de las placas de concreto, en las zonas de los balcones</li> <li>4) Anclaje del acero de refuerzo para la nueva mampostería</li> <li>5) Levantar los nuevo muros, con mampostería reforzada</li> <li>6) Fundir vigas de confinamiento, adosadas al interior de los muros</li> <li>7) Amarre de acero de la viga de confinamiento</li> <li>8) Fundida de la alfajía de concreto</li> <li>9) Enchape con ladrillo de la alfajía de concreto</li> <li>10) Lavado de los muros, con rinces especializados</li> <li>11) Impermeabilización del ladrillo de fachada</li> </ol> <p><b>Ventajas de la solución constructiva</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>A) La solución mejoró la estética de la fachada, y garantiza su eficiencia ante el efecto sísmico</li> <li>B) Las columnetas y la viga de confinamiento fijan el muro a la estructura y quedan oculta dentro de la mampostería</li> </ol>		 <p>Detalle la solución constructiva, refuerzo de la mampostería con columnetas y viga de confinamiento enchapada . Fuente: Consortio Consultores SED</p>	

### 5.6.5 Memorias de Diseño de elementos no estructurales

FICHA DE ESTUDIO CASO : Institución Educativa Distrital Gustavo Restrepo, Sede A, en Bogotá

#### 10. DISEÑO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.



**Empuje sísmico sobre el muro.**

<b>l</b> =	1.1	
<b>Sa</b> =	0.55	3 X Sa = 1.1
<b>lv</b> =	2.7 m	
<b>Rp</b> =	2	Tabla A.9-2
<b>ap</b> =	1.00	Tabla A.9-2
<b>g</b> =	9.8	
<b># de pisos</b> =	2	
<b>Aa</b> =	0.3	

	Masa (Ton)	Altura (m)	Masa x Altura	Cva	ax < 2Sa A. 9-2	Fp (kg)	$\frac{Aa \cdot l \cdot M_p}{2}$
Cub	450.74	5.70	2569.2	0.632	0.75	2229	1021.6
3do	524.12	3.85	2017.9	0.368	0.38	1164	1021.6
<b>Total</b>	<b>974.83</b>	<b>Ton</b>	<b>4587.1</b>				

**Mp =**  $\frac{W_s}{g} = \frac{3254.9}{9.8} = 332.1 \text{ KG}$  **Sa x g x mp**  
 Masa del elemento estructural

MURO de 2.00 m de largo, 0.15m de espesor y 2.0 m de alto

$$F_p = \frac{m_s \cdot m_p \cdot a_s}{R_p} \geq \frac{A_a \cdot l}{2} \cdot g \cdot M_p \quad (A.9-1)$$

**ap =**  $l$  Ver Tabla A-9-2

$$a_s = \frac{C_{vs} \cdot V_s}{m_s \cdot g} \leq 2 S_a \quad (A.9-2)$$

**Diseño del elemento vertical.**



<b>Sección transversal</b>	<b>B =</b>	15 cm
	<b>T =</b>	10 cm
<b>Momento en la base</b>		852 Kg - m
<b>l =</b>	0.0024	

### 5.6.6 Costos de reforzamiento

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Institución Educativa Distrital Gustavo Restrepo, Sede A, en Bogotá					
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN</b>				<b>CUADRO DE AREAS Y COSTOS DE REHABILITACIÓN</b>			
Diseñador	Consortio Consultores SED	Numero de pisos			2		
Constructor	Consortio Gustavo Restrepo	Área por piso			1.961 m2		
Interventor	Universidad Distrital	Área construida			3.921 m2		
Año	2007-2008	Costo de la rehabilitación	\$	130.021.199			
Área de la envolvente Edificio Aulas	1.673 m2	Costo promedio	\$	77.714		/m2	
Área rehabilitada de mampostería	1.253 m2	Costo promedio en SMMLV					
		Rehabilitación muros	\$	70.631.099			
		Costo promedio	\$	56.366		/m2	
		Costo promedio en SMMLV					
Área rehabilitada de ventanería	420 m2	Rehabilitación ventanas	\$	59.390.100			
		Costo promedio	\$	141.405		/m2	
		Costo promedio en SMMLV					

ITEM	DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR INSUMO	VR UNITARIO	CANTIDAD INSUMO	VR TOTAL	VALOR EN SMMLV
4.1.6	<b>Suministro e Instalación de Concreto Fluido de 3000 Psi</b>	m3	13,764		\$ 471.744,00		\$ 6.493.084,42	14,07
	Concreto fluido 3000 psi	m3	1,100	\$ 274.572	\$ 302.029,20	15,140	\$ 4.157.129,91	9,01
	Herramienta menor	gl	1,000	\$ 1.000	\$ 1.000,00	13,764	\$ 13.764,00	0,03
	Formaleta	m2	3,947	\$ 15.000	\$ 59.204,02	54,326	\$ 814.884,13	1,77
	Vibrador	d	0,040	\$ 25.000	\$ 1.000,00	0,551	\$ 13.764,00	0,03
	Mano de Obra	hc	11,233	\$ 9.660	\$ 108.510,78	154,611	\$ 1.493.542,38	3,24
5.2.10	<b>MURO EN LADRILLO TOLETE PRENSADO E=12 CM.</b>	M2	154		\$ 47.963		\$ 7.386.302	16,00
	Herramienta menor	ml	1,582	\$ 1.000	\$ 1.582	243,628	\$ 243.628	0,53
	Andamio Tubular	ml	1,000	\$ 500	\$ 500	154,000	\$ 77.000	0,17
	Tolete prensado	UN	59,000	\$ 539	\$ 31.801	9,086,000	\$ 4.897.354	10,61
	Mortero de 125 K/M2	m3	0,026	\$ 170.000	\$ 4.420	4,004	\$ 680.680	1,47
	Cuadrilla	jornal	1,000	\$ 9.660	\$ 9.660	420,000	\$ 1.487.640	3,22
5.5.3	<b>ACERO DE REFUERZO</b>		6,489		\$ 2.385		\$ 15.476.027	33,53
	Hierro figurado	KG	1,050	\$ 2.030	\$ 2.132	6,813,345	\$ 13.831.090	29,97
	Alambre	KG	0,045	\$ 1.705	\$ 77	292,001	\$ 497.861	1,08
	Cuadrilla	jornal	0,010	\$ 9.660	\$ 92	3,990	\$ 38.546	0,08
	Herramienta menor	glb	0,085	\$ 1.000	\$ 85	35,700	\$ 35.700	0,08
4.42	<b>ANCLAJE EPOXICO 3/8" SEGÚN NORMA</b>	un	840		\$ 4.500,00		\$ 3.780.000,00	8,19
	Epóxico H(RE500) ó G5 ó similar	kg	0,015	\$ 200.000	\$ 3.000,00	12,600	\$ 2.520.000,00	5,46
	Broca	un	0,001	\$ 80.000	\$ 80,00	0,840	\$ 67.200,00	0,15
	Taladro	un	0,002	\$ 30.000	\$ 45,00	1,260	\$ 37.800,00	0,08
	Herramienta menor	gl	0,100	\$ 1.000	\$ 100,00	84,000	\$ 84.000,00	0,18
	Mano de Obra	hc	0,132	\$ 9.660	\$ 1.275,00	110,870	\$ 1.071.000,00	2,32
9.1.74	<b>MORTERO ESTRUCTURAL TIPO GROUT, PARA DOVELAS</b>	Litro	450		\$ 4.500		\$ 2.025.000	4,39
	MORTERO ESTRUCTURAL TIPO GROUT	Litro	1,000	\$ 3.000	\$ 3.000	450,000	\$ 1.350.000	2,93
	Herramienta menor	dia	0,100	\$ 1.000	\$ 100	14,740	\$ 14.740	0,03
	Cuadrilla	jornal	0,145	\$ 9.660	\$ 1.400	60,870	\$ 206.360	0,45

ITEM	DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VR INSUMO	VR UNITARIO	CANTIDAD INSUMO	VR TOTAL	VALOR EN SMMMLV
9.1.79	<b>ALFAJIA PREFABRICADA DE 0.30</b>	ml	147		\$ 21.773		\$ 3.209.367	6,95
	Concreto 3000 PSI gf	M3	0,020	\$ 274.572	\$ 5.491	2,948	\$ 809.438	1,75
	Durmiente	UN	0,360	\$ 850	\$ 306	53,064	\$ 45.104	0,10
	Arena de revoque	m3	0,009	\$ 10.000	\$ 90	1,327	\$ 13.266	0,03
	Herramienta menor	dia	0,634	\$ 1.000	\$ 634	93,452	\$ 93.452	0,20
	Tablon cativo	ml	0,180	\$ 1.350	\$ 243	26,532	\$ 35.818	0,08
	Cuadrilla	jornal	1,554	\$ 9.660	\$ 15.009	652,554	\$ 2.212.289	4,79
4.4.5	<b>CINTA Y COLUMNAS DE AMARRE</b>	ml	516		\$ 38.355		\$ 19.804.117	42,91
	Concreto 3000 PSI gf	M3	0,015	\$ 274.572	\$ 3.981	2,137	\$ 586.843	1,27
	Durmiente	UN	0,360	\$ 850	\$ 306	53,064	\$ 45.104	0,10
	Andamio Tubular	ml	1,000	\$ 500	\$ 500	154,000	\$ 77.000	0,17
	Tolete prensado	UN	14,000	\$ 593	\$ 8.302	2.156,000	\$ 1.278.508	2,77
	Herramienta menor	dia	0,150	\$ 1.000	\$ 150	22,110	\$ 22.110	0,05
	Cuadrilla	jornal	2,600	\$ 9.660	\$ 25.116	1.092,000	\$ 3.702.098	8,02
1.3.9	<b>DEMOLICION MUROS TOLETE 0.12 CON R. SOB.</b>	un	154		\$ 8.294		\$ 1.281.257	2,78
	Cuadrilla	jornal	0,527	\$ 9.660	\$ 5.094	221,478	\$ 2.139.480	4,64
	Volqueta	m3	0,150	\$ 16.000	\$ 2.400	63,000	\$ 1.008.000	2,18
	Herramienta menor	glb	0,800	\$ 1.000	\$ 800	336,000	\$ 336.000	0,73
21.1.2	<b>LIMPIEZA DE FACHADAS</b>	M2	1.253		\$ 3.629		\$ 4.547.137	9,85
	Ácido Nítrico	LT	0,059	\$ 2.350	\$ 139	73,927	\$ 173.728	0,38
	Herramienta menor	Gl	0,320	\$ 1.000	\$ 320	400,960	\$ 400.960	0,87
	Cuadrilla	jornal	0,328	\$ 9.660	\$ 3.170	137,841	\$ 467.310	1,01
21.1.3	<b>IMPERMEABILIZACIÓN DE FACHADAS</b>	M2	1.253	\$ 3.629	\$ 5.290		\$ 6.628.809	14,36
	Bomba aspersora	dia	0,002	\$ 50.000	\$ 100	2,506	\$ 125.300	0,27
	Herramienta menor	Gl	0,020	\$ 1.000	\$ 20	25,060	\$ 25.060	0,05
	Repelente de humedad tipo Hidrosil Ladrillo, o similar	Lt	0,200	\$ 10.000	\$ 2.000	250,600	\$ 2.506.000	5,43
	Cuadrilla	jornal	0,328	\$ 9.660	\$ 3.170	137,841	\$ 467.310	1,01
1.3.31	<b>DESMONTE VENTANAS Y VIDRIOS CON R. SOB.</b>	m2	420		\$ 6.621		\$ 2.780.820	6,03
	Cuadrilla	jornal	0,541	\$ 9.660	\$ 5.221	227,010	\$ 2.192.917	4,75
	Volqueta	m3	0,075	\$ 16.000	\$ 1.200	31,494	\$ 503.903	1,09
	Herramienta menor	glb	0,200	\$ 1.000	\$ 200	84,000	\$ 84.000	0,18
12.1.1.	<b>VENTANA FIJA (INCL. VIDRIO TEMPLADO DE 5MM)</b>	m2	420		\$ 134.784		\$ 56.609.280	122,66
	SUBCONTRATO T/C VENTANA FIJA (INCL. VIDRIO TEMPLADO DE 5MM)	GLOBAL	1,000	\$ 134.784	\$ 134.784	\$ 420	\$ 56.609.280	122,66



## 5.6.7 Seguimiento al Estado de las fachadas

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Institución Educativa Distrital Gustavo Restrepo, Sede A, en Bogotá	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN</b>		<b>CUADRO DE AREAS</b>	
Nombre	Institución Educativa Distrital Gustavo Restrepo, sede A	Numero de Edificios	3
Dirección	Calle 28 sur No 14-51, de la ciudad de Bogotá, Localidad 18	Numero de pisos	2
Diseñador	Consortio Consultores SED	Área de reforzamiento	3918 m2
Constructor	Consortio Gustavo Restrepo 2006	Área construida	39 m2
Interventor	Universidad Distrital	Área de la envolvente	2425 m2
Usos	Educación primaria y secundaria		
<b>ESTADO ACTUAL DE LAS FACHADAS</b>		<b>IMAGEN DE LA FACHADA</b>	
<p><b>Eficiencia del sistema</b></p> <p>El comportamiento de la fachada fue satisfactorio durante los eventos sísmicos, de 5,5 grados y de 6,6 grados en la escala de Richter; registrados los días 25 de mayo de 2.008 y 10 de marzo de 2015, respectivamente. No se presentaron daños</p> <p>Aún se observan la diferencias de las tonalidades de ladrillo, antiguo y las franjas que fueron reemplazadas durante el reforzamiento del año 2007 esto se debió a que el ladrillo antiguo fue sometido a procesos de impermeabilización inadecuados, que dejaron manchas permanentes</p>		 <p>Imagen actual de la fachada . Fuente: Propia</p>	
<b>ESTADO ACTUAL DE LAS FACHADAS</b>		<b>DETALLES DE LA FACHADA</b>	
<p>En la actualidad, la fachada de ladrillo esta en buen estado, solo se evidencian algunas zonas con manchas, producto de inadecuados proceso de impermeabilización</p> <p>A la ventanería de aluminio fueron adicionadas rejillas metálicas para mejorar la seguridad del colegio</p> <p><b>Recomendaciones</b></p> <p>Para evitar manchas permanentes en las superficies de ladrillo, se recomienda:</p> <p>A) Hacer mantenimiento integral a las fachadas, emboquillados e impermeabilización de la fachada, como mínimo cada 10 años</p> <p>B) El lavado de los muros de ladrillo se debe hacer con rinces especializados Evitando el uso de productos ácidos, con preparaciones artesanales para evitar erosión en la capa superficial del ladrillo</p> <p>C) El tratamiento de manchas y eflorescencias se puede hacer con desmanchadores especiales, según el tipo y origen de la mancha evitando el uso de productos ácidos, puros o diluidos, pues causan erosión y daño irreparable en la capa superficial del ladrillo</p> <p>D) Usar impermeabilizantes o repelentes de humedad en las cantidades indicadas por los fabricantes y nunca usar pinturas, lacas o mezclas de productos químicos, de manera artesanal</p>		 	

## 5.7 Caso 7 - Villa Salvatoriana

### 5.7.1 Ficha de datos básicos del caso de estudio



REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE FACHADAS DE EDIFICACIONES, CONSTRUIDAS EN COLOMBIA, ANTES DE LA EXPEDICIÓN DEL REGLAMENTO NSR-10



FICHA DE ESTUDIO		CASO : Casa de eventos Villa Salvatoriana en Chia, Cundinamarca	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN ORIGINAL</b>		<b>CUADRO DE AREAS</b>	
Nombre	Villa Salvatoriana	Numero de Edificios	1
Dirección	Vereda Bojacá del municipio de Chia	Numero de pisos	1 y 2
Diseñador	No se tienen datos	Área de reforzamiento	1536 m <sup>2</sup>
Constructor	No se tienen datos	Área construida	1285 m <sup>2</sup>
Usos	Casa de Eventos y convenciones	Área de la FACHADA	1536 m <sup>2</sup>
Edificaciones	Construida en el año 1947, para el uso de la Comunidad religiosa de las Hermanas Salvatorianas. Transformada y adaptada para hotel, eventos sociales y centro de convenciones		
<b>DESCRIPCION DE LA FACHADA ORIGINAL</b>		<b>IMAGEN FACHADA ORIGINAL</b>	
Sistema Constructivo	Ladrillo a la vista		
Materiales constitutivos	Ladrillo a la vista, ventanería metálica y vidrio		
Irregularidades en planta	No se detectaron		
Irregularidades en Altura	Costado norte del edificio, de un piso y el costado, sur de dos pisos		
Aislamiento con la estructura	No se encontraron dilataciones		
<p>Planta de primer y segundo piso. Fuente: Franco &amp; Angel, Arquitectos Ltda</p>		<p>Fuente: Franco &amp; Angel, Arquitectos Ltda</p>	
<b>REHABILITACION DE LA FACHADA</b>		<b>IMAGEN FACHADA REHABILITADA</b>	
Diseñador	Ing. Antonio Ramirez Vargas		
Constructor	Y & J Ingeniería E.U.		
Interventoría	Franco & Angel, Arquitectos Ltda		
Año	2007 y 2008		
Aspectos constructivo	<p>Remodelación y reforzamiento de la edificación por cambio de Uso</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reforzamiento de las fachadas de ladrillo</li> <li>- Corte del pañete para instalar laminas CFRP</li> <li>- Alistado de la Superficie</li> <li>- Reforzamiento con láminas de fibra de carbono (CFRP) colocadas vertical, horizontal y diagonalmente, adheridas en ambas caras de muros</li> <li>- Vinculación de los muros a la estructura de concreto</li> <li>- Aplicación de pañete, sobre las láminas de CFRP</li> <li>- Aplicación de pintura acrílica, tipo Coraza, sobre pañete</li> </ul>		
<p>Fuente: Franco &amp; Angel, Arquitectos Ltda.</p>		<p>Fuente: Franco &amp; Angel, Arquitectos Ltda.</p>	

### 5.7.2 Ficha de Patología



<b>FICHA DE PATOLOGIA</b>		<b>CASO : Casa de eventos Villa Salvatoriana en Chia, Cundinamarca</b>	
SINTOMATOLOGIA: <b>MAMPOSTERIA DE LADRILLO PRENSADO MACIZO, SIN REFUERZO</b>			
UBICACIÓN: <u>En toda las fachadas de la edificación</u>			
LESION	FISICAS <input checked="" type="checkbox"/>	HUMEDAD <input checked="" type="checkbox"/>	GRIETA <input checked="" type="checkbox"/>
	QUIMICAS <input type="checkbox"/>	DEFORMACION <input type="checkbox"/>	FISURA <input checked="" type="checkbox"/>
	MECANICAS <input type="checkbox"/>	EFLORESCENCIAS <input type="checkbox"/>	OXIDACION <input type="checkbox"/>
	ALTERACIONES <input type="checkbox"/>	APARICIÓN DE EFECTOS SECUNDARIOS <input type="checkbox"/>	CORROSION <input type="checkbox"/>
	EROSION <input type="checkbox"/>	DESPRENDIMIENTOS <input type="checkbox"/>	CAMBIOS DE NIVEL <input type="checkbox"/>
		ORGANISMOS <input type="checkbox"/>	MUESTRA ANTERIOR <input type="checkbox"/>
<b>DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA</b>		<b>IMAGEN DE LA FACHADA</b>	
Pandeo y fisuras horizontales de los muros de ladrillo			
AUSCULTAMIENTO Se hicieron levantamientos fotográficos,			
<b>DIAGNOSTICO</b>			
Fisuración y deterioro superficial del ladrillo Humedad en los muros de ladrillo del primer piso			
<b>CAUSAS PROBABLES DEL DAÑO EN LA SUPERFICIE DEL LADRILLO</b>		<b>DETALLE DE LA LESION</b>	
Vibraciones transmitidas por maquinaria pesada  Aumento de cargas por el cambio de uso y por la inclusión de nuevas unidades sanitarias. Se hizo un relleno y sobre-piso sobre la placa de Entrepiso  La humedad retenida por la vegetación colocada sobre los muros causarán 1) Criptoeflorescencias, o cristalización de sales atrapadas dentro de la red capilar interior, que causan deterioro o desintegración del material, cuando hay contenidos de sulfato de sodio o sulfato de magnesio heptahidratado, a causa del aumento del volumen de las sales, con la cristalización			
<b>INTERVENCION</b> Retiro del material vegetal ubicado sobre los muros de ladrillo Reforzamiento de los muros de fachada con láminas de fibra de carbono (CFRP) colocadas vertical, horizontal y diagonalmente, desde la cimentación a ambas caras de los muros. También se reforzó la cimentación, con una viga de concreto reforzado, colocada perimetralmente Aplicación de pañete, sobre las láminas de CFRP y terminación con la aplicación de pintura acrílica, tipo Coraza.			

Imagen del proceso de retiro de la vegetación de la fachada de ladrillo. Fuente: Franco & Angel, Arquitectos Ltda.

Imagen del proceso de reforzamiento de la fachada y vinculación con la cimentación y. Fuente: Franco & Angel, Arquitectos Ltda.

### 5.7.3 Reforzamiento con láminas de fibra de carbono

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Casa de eventos Villa Salvatoriana en Chia, Cundinamarca	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN ORIGINAL</b>		<b>CUADRO DE AREAS</b>	
Nombre	Villa Salvatoriana	Numero de Edificios	1
Dirección	Vereda Bojacá del municipio de Chia	Numero de pisos	1 y 2
Diseñador	No se tienen datos	Área de reforzamiento	1285,05 m <sup>2</sup>
Constructor	No se tienen datos	Área construida	1285,05 m <sup>3</sup>
Usos	Casa de Eventos y convenciones	Área de la FACHADA	1535,75 m <sup>2</sup>
<b>SOLUCIÓN ESTRUCTURAL:</b>			
<b>REFORZAMIENTO CON LAMINAS DE FIBRA DE CARBONO</b>			
<b>Descripción de la solución constructiva</b>			
La técnica de reforzamientos consiste en reforzar ambos lados de la mampostería con láminas de fibra de carbono (CFRP) colocadas vertical, horizontal y diagonalmente, desde la cimentación hasta el nivel de la cubierta			
<b>PROCESO CONSTRUCTIVO</b>		<b>IMAGEN DEL REFORZAMIENTO</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Construcción de viga de amarre perimetral, de reforzamiento a nivel de cimentación</li> <li>2) Corte del pañete para instalar laminas CFRP</li> <li>3) Alistado de las Superficies, de contacto de las láminas de fibra de carbono</li> <li>4) Pruebas PULL OFF de adherencia de las superficie y de las laminas CPRP,</li> <li>5) Aplicación de EMACO – mortero de reparación preparando la superficie</li> <li>6) Colocación de la cinta de fibra de carbono, dispuesta según diseño de reforzamiento Desde la ciemetación y sobre muros de fachada</li> </ol> <p>Aplicación de pañete, sobre las láminas de CFRP Aplicación de pintura acrílica, tipo Coraza, sobre pañete</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>12) Aplicación de mano final de pintura acrílica para exteriores tipo Koraza</li> </ol>		 <p>Imágenes del proceso de pruebas Pull Off y reforzamiento de la fachada . Fuente: Franco &amp; Angel, Arquitectos Ltda.</p>	
<b>REHABILITACION DE LA FACHADA</b>		<b>IMAGEN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA</b>	
<b>Descripción de la solución constructiva</b> Teniendo en cuenta que uno de los daños mas frecuentes de los muros de fachada acoplados a la estructura de concreto, es la fractura, este sistema de encamisado le da mayor ductilidad y le permite mantener la unidad estructural y reducir las fallas fragiles y explosivas producto de las cargas sismicas		 <p>Imágenes del proceso de reforzamiento de la fachada . Fuente: Franco &amp; Angel, Arquitectos Ltda.</p>	
<b>Ventajas de la solución constructiva</b> a) Esta solución esta avalada en la Norma NSR-10, como metodo de reforzamiento y de rehabilitación de mamposterias, b) La estructura de soporte de revestimiento contribuye al reforzamiento de la mampostería, junto con el encamisado de malla electrosoldada y mortero			
<b>Estado actual de la FACHADA</b> El comportamiento de la FACHADA fue satisfactorio durante el evento sísmico , de 5.5 grados, del 24 de mayo de 2008. No se registraron daños importantes. Solo se registran algunas fisuras de pañete en algunos puntos localizados en la unión de las mamposterías con los elementos estructurales de concreto			



### 5.7.4 Costos de reforzamiento

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Casa de eventos Villa Salvatoriana en Chia, Cundinamarca					
DATOS DE LA EDIFICACIÓN			CUADRO DE AREAS Y COSTOS DE REHABILITACIÓN				
Diseñador	Ing. Antonio Ramirez Vargas	Numero de pisos	2				
Constructor	Y & J Ingeniería E.U.	Área por piso					
Interventor	Franco & Angel, Arquitectos Ltda	Área construida	1.285 m2				
Año	2007 y 2008						
Área de la envolvente	1.535,75 m2	Costo de la rehabilitación	\$	88.035.360			
		Costo promedio	\$	68.458	/m2		
		Costo promedio en SMMLV			0,15	SMMLV	
Área rehabilitada de mampostería	1.285,98 m2	Rehabilitación muros	\$	88.035.360			
Área de ventanería	249,77 m2	Costo promedio	\$	68.458	/m2		
DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VALOR INSUMO	VALOR UNITARIO	CANTIDAD INSUMO	VR TOTAL	VR. EN SMMLV
<b>Preparación de la superficie</b>	<b>ml</b>	<b>2.192</b>		<b>\$ 10.000</b>		<b>\$ 21.916.500</b>	<b>47,49</b>
Andamio - sección	día	0,220	\$ 6.000	\$ 1.320	482,163	\$ 2.892.978	6,27
Herramienta menor	gl	0,500	\$ 1.000	\$ 500	1.095,825	\$ 1.095.825	2,37
Cinzel para demolición	un	0,010	\$ 38.200	\$ 382	21,917	\$ 837.210	1,81
Taladro percutor	día	0,010	\$ 45.000	\$ 450	21,917	\$ 986.243	2,14
Mano de Obra	hc	0,588	\$ 12.500	\$ 7.348	1.288,340	\$ 16.104.244	34,90
<b>Preparación de la superficie</b>	<b>ml</b>	<b>2.192</b>		<b>\$ 6.000</b>		<b>\$ 13.149.900</b>	<b>28,49</b>
Andamio - sección	día	0,220	\$ 6.000	\$ 1.320	40,744	\$ 244.464	0,53
Herramienta menor	gl	0,500	\$ 1.000	\$ 500	92,600	\$ 92.600	0,20
Mano de Obra	hc	0,334	\$ 12.500	\$ 4.180	61,931	\$ 774.136	1,68
<b>Fibra de carbono</b>	<b>ml</b>	<b>2.192</b>		<b>\$ 17.943</b>		<b>\$ 39.323.680</b>	<b>85,21</b>
Andamio - sección	día	0,220	\$ 6.000	\$ 1.320	482,163	\$ 2.892.978	6,27
Herramienta menor	gl	0,500	\$ 1.000	\$ 500	1.095,825	\$ 1.095.825	2,37
Mbrece lámina CF-130	un	0,010	\$ 38.200	\$ 382	21,917	\$ 837.210	1,81
Mbrece pasta	día	0,010	\$ 45.000	\$ 450	21,917	\$ 986.243	2,14
Mbrece primario	hc	0,588	\$ 12.500	\$ 7.348	1.288,340	\$ 16.104.244	34,90
Mbrece saturante	KG	0,075	\$ 23.500	\$ 1.763	164,374	\$ 3.862.783	8,37
Mano de Obra	hc	0,494	\$ 12.500	\$ 6.180	1.083,552	\$ 13.544.397	29,35
<b>Pañete de fachada</b>	<b>m2</b>	<b>185</b>		<b>\$ 19.357</b>		<b>\$ 3.584.916</b>	<b>7,77</b>
Cemento gris	Kg	14,000	\$ 370	\$ 5.180	2.592,800	\$ 959.336	2,08
Arena de peña	m3	0,030	\$ 18.000	\$ 540	5,556	\$ 100.008	0,22
Andamio	d	0,080	\$ 5.000	\$ 400	14,816	\$ 74.080	0,16
Mano de Obra	hc	1,059	\$ 12.500	\$ 13.237	196,119	\$ 2.451.492	5,31
<b>Pintura acrílica para Fachada</b>	<b>M2</b>	<b>1.286</b>		<b>\$ 5.200</b>		<b>\$ 6.687.096</b>	<b>14,49</b>
Pintura acrílica para fachada tipo Koraza	Galon	0,083	\$ 25.000	\$ 2.083	107,165	\$ 2.679.125	5,81
Herramienta menor	Gl	0,100	\$ 1.000	\$ 100	18,520	\$ 128.598	0,28
Andamio	d	0,080	\$ 5.000	\$ 400	14,816	\$ 74.080	0,16
Cinta de enmascarar	rollo	0,020	\$ 4.900	\$ 98	3,704	\$ 126.026	0,27
Mano de Obra	Hc	0,201	\$ 12.500	\$ 2.519	259,116	\$ 3.238.955	7,02
<b>Vigas de confinamiento de Concreto de 3000 Psi</b>	<b>m3</b>	<b>6,13</b>		<b>\$ 502.903,00</b>		<b>\$ 3.082.795</b>	<b>6,68</b>
Concreto 3000 psi	m3	1,000	\$ 300.000	\$ 300.000	6,130	\$ 1.839.000	3,98
Herramienta menor	gl	0,098	\$ 1.000	\$ 98	0,601	\$ 601	0,00
Formaleta	m2	2,000	\$ 15.000	\$ 30.000	12,260	\$ 183.900	0,40
Acero de refuerzo	Kg	55,000	\$ 1.300	\$ 71.500	337,150	\$ 438.295	0,95
Vibrador	d	0,040	\$ 25.000	\$ 1.000	0,245	\$ 6.130	0,01
Mano de Obra	hc	9,553	\$ 10.500	\$ 100.305	58,559	\$ 614.870	1,33
<b>Anclajes</b>	<b>un</b>	<b>78</b>		<b>\$ 3.724,00</b>		<b>\$ 290.472</b>	<b>0,63</b>
Epóxico H(RE500) ó G5 ó similar	kg	0,015	\$ 180.000	\$ 2.700	1,170	\$ 210.600	0,46
Broca	un	0,001	\$ 80.000	\$ 80	0,078	\$ 6.240	0,01
Taladro	un	0,002	\$ 30.000	\$ 45	0,117	\$ 3.510	0,01
Herramienta menor	gl	0,101	\$ 1.000	\$ 101	7,878	\$ 7.878	0,02
Mano de Obra	hc	0,076	\$ 10.500	\$ 798	5,928	\$ 62.244	0,13

## 5.7.5 Memorias de cálculo reforzamiento

### Bases para revisar comportamiento de muros no estructurales ante la amenaza sísmica

La edificación consta de dos pisos, con altura libre máxima de 2.4 m.

El sistema estructural consiste en mampostería de carga estructural.

Los muros se reforzarán externamente, en las dos direcciones, mediante cintas en GFRP

### Parámetros de diseño sísmico

Grado de desempeño Bueno.

Capacidad de disipación de energía moderada (DMO)

$$\text{Peso del muro por m}^2 : W_p = 4,94 \text{ KN}$$

$$\text{Masa del muro por m}^2 : M_p = 0,50 \text{ Kg}$$

$$a_p = 1 \quad R_p = 1,5$$

$$a_x = C_v V_s / m_x g = 0,46 \quad 2 S_a = 1$$

$$a_x = 1 \quad A_a l / 2 = 0,1$$

$$F_p = a_x a_p g M_p / R_p = 3,30 \quad A_a l / 2 g M_p = 0,49$$

### Análisis de esfuerzos para cargas perpendiculares al plano del muro

Se asume que los muros se encuentran confinados en la base por la cimentación, en los costados por las columnas de confinamiento y en la parte superior por la cubierta.

$$\text{Fza. de sismo perpendicular al muro, } F_p = 3,30 \text{ KPa}$$

$$\text{Espesor del muro, } t = 0,28 \text{ m}$$

$$\text{Mod de Sección, } S = 1(t^2)/6 = 0,01306667 \text{ m}^3$$

Para los muros en 1o y 2o piso, consideramos dos condiciones críticas:

A.- Primera condición como muro confinado en los cuatro bordes

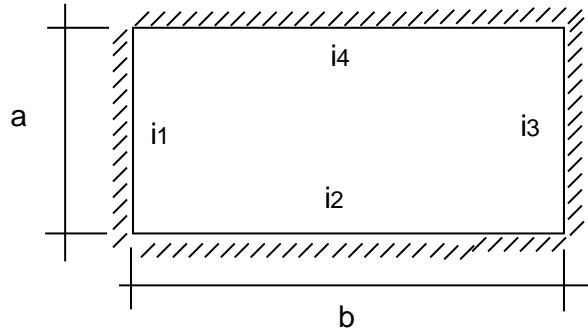
B.- Segunda, como muro con tres lados confinados, asumiendo que se puede aislar de la estructura superior en caso de sismo.

$$a = 2,4 \text{ m}$$

$$b = 4 \text{ m}$$

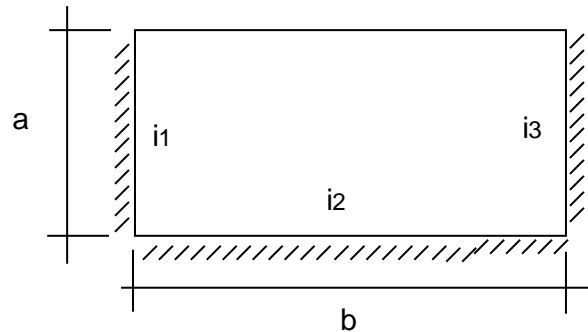
A.- Muro apoyado en cuatro bordes

$$\begin{aligned} i_1 &= 0,5 \\ i_2 &= 1 \\ i_3 &= 0,5 \\ i_4 &= 0,3 \end{aligned}$$



B.- Muro apoyado en tres bordes

$$\begin{aligned} i_1 &= 0,5 \\ i_2 &= 1 \\ i_3 &= 0,5 \end{aligned}$$



$$f_m = 5000 \text{ KN/m}^2$$

Para condición A

$$a_r = 2 a / (\sqrt{1+i_2} + \sqrt{1+i_4}) = 1,88$$

$$b_r = 2 b / (\sqrt{1+i_1} + \sqrt{1+i_3}) = 3,27$$

$$M_{\max} = w a_r b_r / (8 (1 + a_r/b_r + b_r/a_r)) = 0,76 \text{ KN m}$$

$$f_m \max = M / S = 58,40 \text{ KPa} < F_m$$

Para condición B

$$b_r = 2 b / (\sqrt{1+i_1} + \sqrt{1+i_3}) = 3,27$$

$$M = w a b_r / (3 + 12 a/b_r + 2 (1+b_r/a) i_2) = 1,56 \text{ KN m}$$

$$f_m \max = M / S = 119,55 \text{ KPa} < F_m$$

Los muros soportan esfuerzos muy bajos comparados con los disponibles, ante las cargas normales a su plano que le origina el sismo. Se diseñan con refuerzo mínimo.

## 5.7.6 Seguimiento al Estado de las fachadas

FICHA DE ESTUDIO		CASO : Casa de eventos Villa Salvatoriana en Chía, Cundinamarca	
<b>DATOS DE LA EDIFICACIÓN ORIGINAL</b>		<b>CUADRO DE ÁREAS</b>	
Nombre	Villa Salvatoriana	Numero de Edificio	1
Dirección	Vereda Bojacá del municipio de Chía	Numero de pisos	1 y 2
Diseñador	Ing. Antonio Ramirez Vargas	Área de reforzamiento	1536 m <sup>2</sup>
Constructor	Y & J Ingeniería E.U.	Área construida	1285 m <sup>2</sup>
Interventor	Franco & Ángel, Arquitectos Ltda.	Área de la fachada	1536 m <sup>2</sup>
Usos	Centro de Eventos y convenciones		
Edificaciones	Construida en el año 1947, para el uso de la Comunidad religiosa de las Hermanas Salvatorianas. Transformada y adaptada para hotel, eventos sociales y centro de convenciones		
<b>ESTADO ACTUAL DE LA FACHADA</b>		<b>IMÁGENES DE LA FACHADA</b>	
<p><b>Eficiencia del sistema</b></p> <p>El comportamiento de la fachada fue satisfactorio durante los eventos sísmicos, de 5,5 grados y de 6,6 grados en la escala de Richter; registrados los días 25 de mayo de 2008 y 10 de marzo de 2015, respectivamente. No se presentaron daños de ningún tipo</p> <p>No se notan las cintas, por la buena adherencia del pañete y tampoco volvieron a aparecer las patologías del ladrillo detectadas durante la intervención del año 2008:</p> <p>A) Fisuración y deterioro superficial del ladrillo B) Humedad en los muros de ladrillo del primer piso</p> <p>El pañete y el acabado en pintura acrílica para exteriores, ayudaron a corregir estas patologías, de manera eficiente.</p>		 <p>Fuente: Imágenes propias</p>	
<b>ESTADO ACTUAL DE LA FACHADA</b>		<b>DETALLES DE LA FACHADA</b>	
<p>En la actualidad, la fachada de ladrillo pañetado esta en buen estado no volvieron a aparecer las eflorescencias salinas, en donde habían antiguas humedades, evidenciadas en manchas oscuras, por lo cual se puede deducir que el sistema de reforzamiento y el posterior tratamiento con pintura acrílica resulto eficiente para evitar que volvieran a aparecer las patologías descritas en las fichas.</p> <p><b>Recomendaciones</b></p> <p>El sistema de reforzamiento a partir de laminas de fibra de carbono (CFRP) colocadas vertical, horizontal y diagonalmente, adheridas en ambas caras de los muros, permiten la vinculación de estos a la estructura de concreto de las edificaciones y ha mostrado su eficiencia para absorber y disipar los esfuerzos generados por los movimientos sísmicos.</p> <p>Este sistema de reforzamiento compuesto por fibra de carbono (CFRP) ha sido usado con éxito desde hace mas de 30 años, en el mundo. Sin embargo se conocen casos en que las curadurías urbanas han rechazado su uso por cuanto no se tienen referencias normativas en los códigos de construcción nacionales y en el reglamento NSR-10.</p>		 <p>Fuente: Imágenes propias</p>	



## **6. PROPUESTA DE UN SISTEMA DE REFORZAMIENTO**

La obra de arquitectos que se han constituido como referentes de la arquitectura Moderna Colombiana, tiene como elemento preponderante, el uso del ladrillo en sus fachadas. Las bondades del material han sido señaladas por el arq. Fernando Martínez Sanabria en los apartes de la entrevista que se transcriben en el numeral 5.1., de la presente investigación.

Adicional a la arquitectura producida por profesionales en nuestro país, la mampostería ha sido un material de construcción, utilizado tradicional y masivamente, muchas veces sin ningún tipo de supervisión técnica. En consecuencia se han producido un gran número de edificaciones con fachadas de mampostería sin refuerzo o mal reforzada, las cuales generan una alta vulnerabilidad sobre la población, tal como se ha señalado en el numeral 1.6 – Justificación.

Para ayudar a corregir esta situación y como aporte al conocimiento del área en que ésta se ha desarrollado, la presente investigación ha trabajado en el diseño e implementación de un sistema de reforzamiento para fachadas de ladrillo a la vista. Debido a que los sistemas de reforzamiento, referenciados en el capítulo tercero, poco se ajustan a las características de nuestra arquitectura, se está proponiendo un sistema desarrollado a partir de la combinación de varios de estos sistemas. Se ha buscado una intervención con la menor afectación posible, que sea fácil de instalar y de desmontar, en caso que se requiera y sobre todo, que no afecte la estética particular de las fachadas de ladrillo a la vista.

Basados en el comparativo técnico y económico de los sistemas de reforzamiento, hechos en el capítulo cuarto, se definió el uso del acero en láminas y varillas, como material de refuerzo, por sus propiedades de alta resistencia, ductilidad, bajo aporte en carga a la estructura, costo, facilidades de consecución y de construcción. Adicionalmente se tuvo en cuenta que este material se ha usado exitosamente en reforzamiento de elementos estructurales y no estructurales. También se ha demostrado su efectividad en la reparación de mamposterías afectadas por sismo.

El sistema propuesto, consistente en colocar varillas de acero a lo largo de las juntas de mortero, al lado externo del muro de ladrillo, para vincularlas a un sistema de láminas de acero adheridas a la parte interior del muro, mediante ganchos.

Las láminas verticales van ancladas a las placas de entrepiso para garantizar la vinculación de los muros a la estructura principal de la edificación, según se puede apreciar en la imagen 6.1.2.

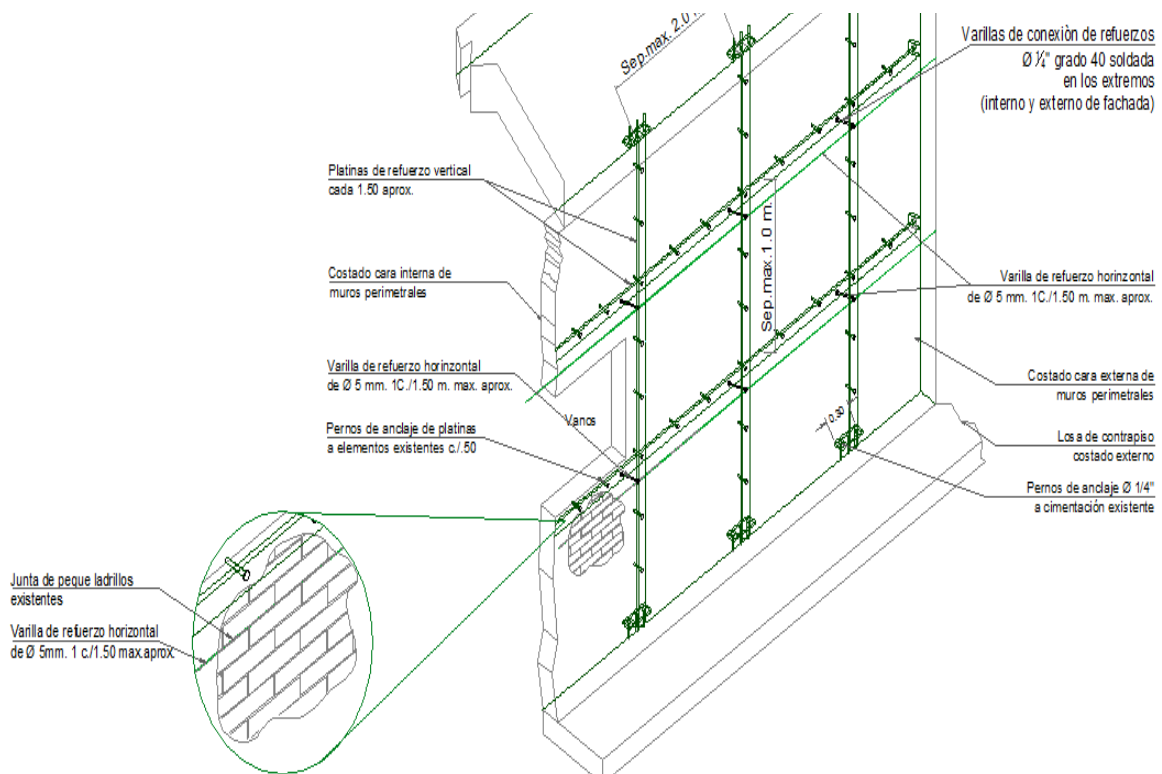


Figura 6.1.1, Detalle constructivo del sistema de reforzamiento propuesto - perspectiva isométrica vista desde el interior. Fuente : Elaboración propia

Para los casos en los cuales no se disponga de estructura a donde anclarse a nivel de la parte superior del muro, se propone la construcción de una viga-cinta de concreto reforzado con armadura de acero. También puede usarse un perfil de acero, con sección en “C”, para confinar el muro y anclar las láminas de acero dispuestas verticalmente.

Las varillas colocadas en ranuras, hechas por las juntas de ladrillo, son selladas con mortero de arena y cemento, a manera de emboquillado. Finalmente las láminas de acero, ubicadas en la parte interior del muro, son revestidas con malla metálica con vena y terminadas con pañete rico en cemento, sobre según se muestra en la figura, 6.2 .

Los terminados al interior y exterior del muro de fachada, son los mismos que se emplean en una obra tradicional; es decir lavado e impermeabilización de ladrillo a la vista y pintura sobre estuco, respectivamente.

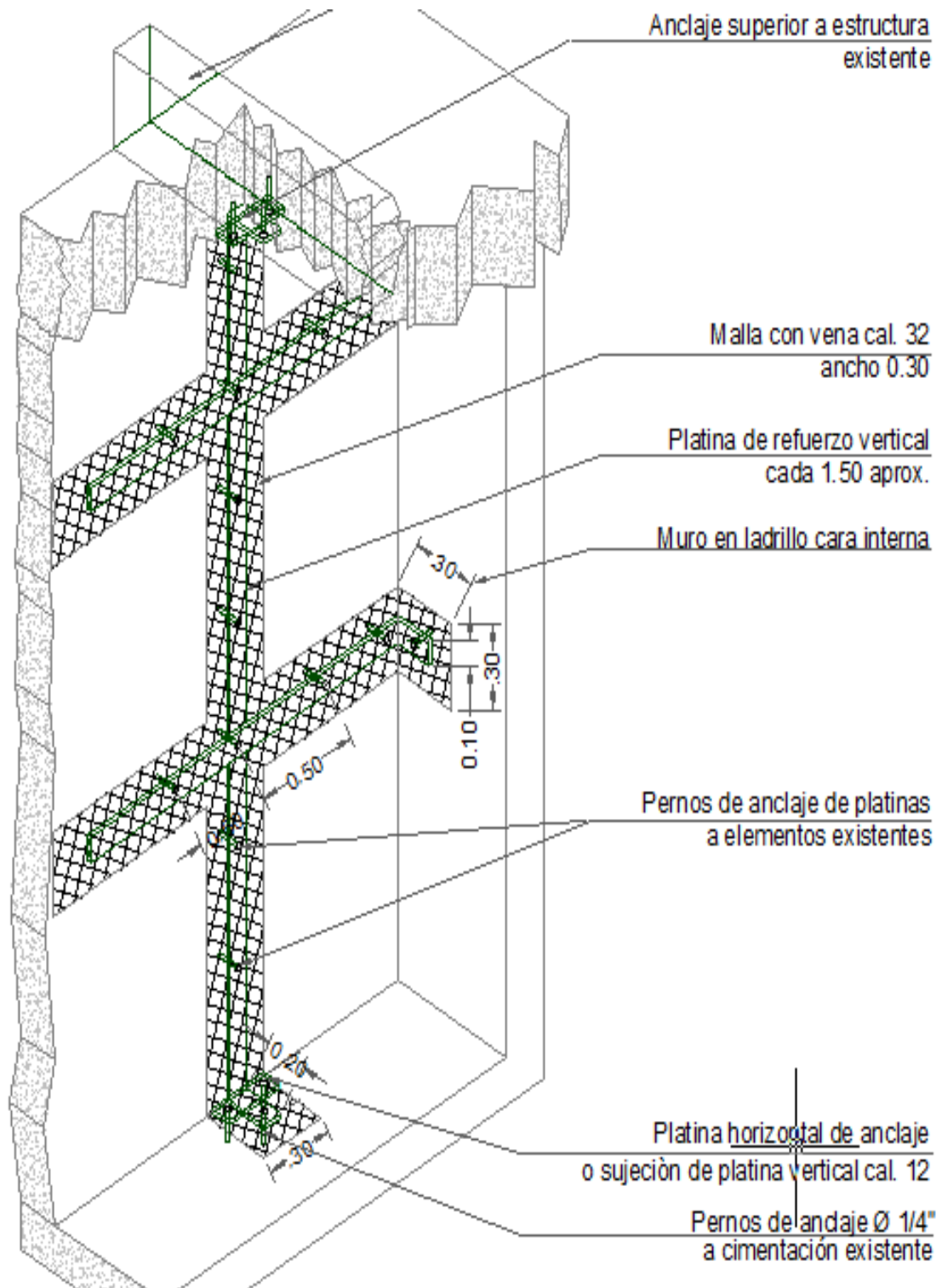


Figura 6.1.2 Detalle constructivo, del sistema de reforzamiento propuesto- perspectiva isométrica- vista desde el interior. Fuente: Elaboración propia

## 6.1 Antecedentes

Adicional a los aspectos técnicos descritos en las investigaciones *Experimental study masonry walls strengthened with steel and plastic straps* [18]. y *Mechanical effects of bed joint steel reinforcement in historic brick masonry structures*, [35] se ha tomado como referencia la investigación *Comportamiento sísmico de muros de mampostería con refuerzo exterior, estudiados en modelos a escala en la mesa vibratoria* [41], adelantada en el Centro de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico (CITEC), de la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, en el año 2004.

En esta investigación, se adelantaron ensayos en modelos en bloque y ladrillo, a escala 1:5, para lo cual se utilizó el procedimiento de construcción de muros confinados, sobre los que se colocó carga, para simular el peso de la cubierta. En el modelo de 98 x 98 x 68 cm, se ensayaron 4 diferentes alternativas de rehabilitación, todos con la misma configuración geométrica, la cual consistía en dos líneas verticales y dos horizontales. Los materiales utilizados fueron: madera, PET, acero. y fibra de vidrio. Los tres primeros materiales fueron fijados al muro utilizando pernos anclados a las columnas o vigas por medio de epóxico, mientras la fibra de vidrio se ancla a las vigas y columnas con un cruce de lado y pegados con epóxico. En los ensayos se simuló la señal del sismo de Tauramena ocurrido el 19 de enero de 1995 y el modelo fue llevado hasta la falla.



Imágenes 6.1.1, y 6.1.2., Modelos a escala 1:5 contruidos con ladrillo tolete y con bloque de arcilla hueco. Fuente: Comportamiento sísmico de muros de mampostería con refuerzo exterior estudiados en modelos a escala en la mesa vibratoria [41]

---

Los autores de la investigación, luego de los ensayos han indicado: *“La rehabilitación con platinas de acero, utilizada en el modelo a escala 1:5 ladrillo tolete se comportó de manera satisfactoria. En este modelo se presentaron dos tipos de fallas, la primera consistió en una falla generalizada a corte en la primera hilada del modelo, y la segunda se presentó por una incompatibilidad de deformaciones que se presentan en las esquinas del modelo. Estas clases de daño no generan un colapso de la edificación, además con este tipo de falla las instalaciones de acueducto y alcantarillado no se ven comprometidas”*. [41]

Estos antecedentes y los resultados vistos en el capítulo 5, con el estudio de casos, en donde se empleó el acero como material de refuerzo para fachadas de mampostería, convalidan el uso de este material, para estos propósitos, por sus propiedades de alta resistencia, ductilidad, bajo aporte en carga a la estructura, costo, facilidades de consecución y de construcción, sobre otros materiales de reforzamiento También se ha demostrado su efectividad en la reparación de mamposterías afectadas por sismo

## 6.2 Reforzamiento de una fachada: Ejemplo de Aplicación del sistema

Con el propósito de evaluar el sistema de reforzamiento propuesto, este fue implementado en la rehabilitación de una casa de conservación de dos pisos, ubicada en el barrio Teusaquillo de Bogotá. Las mamposterías fueron construidas hace aproximadamente 70 años, sin ningún refuerzo y cuentan con cimentación en concreto ciclópeo. Los muros son el apoyo de los entramados de maderas que conforman el entrepiso y la cubierta. Se detectaron humedades en las mamposterías, provocadas por la falta de mantenimiento de la cubierta, las cuales causaron deterioro a estos muros. Se evidenciaron algunas eflorescencias y erosión superficial del ladrillo, pero en general, se encontró que la mampostería podía recuperarse, por lo que fue sometida a una rehabilitación integral, mediante los procesos que se describen.

El reforzamiento de estos muros de fachada permitió medir, exactamente, los aspectos técnicos y económicos del sistema y hacer los ajustes pertinentes. Durante este proceso se contó con el acompañamiento del calculista, Ing Manuel Antonio Ramirez Vargas, quien también se encargó de la elaboración del cálculo estructural y los planos estructurales de reforzamiento.

La figura 6.2.1 muestra, en color azul, los muros de ladrillo a la vista, que fueron sometidos a reforzamiento. En color verde se señala la disposición de las láminas de acero dispuestas verticalmente.

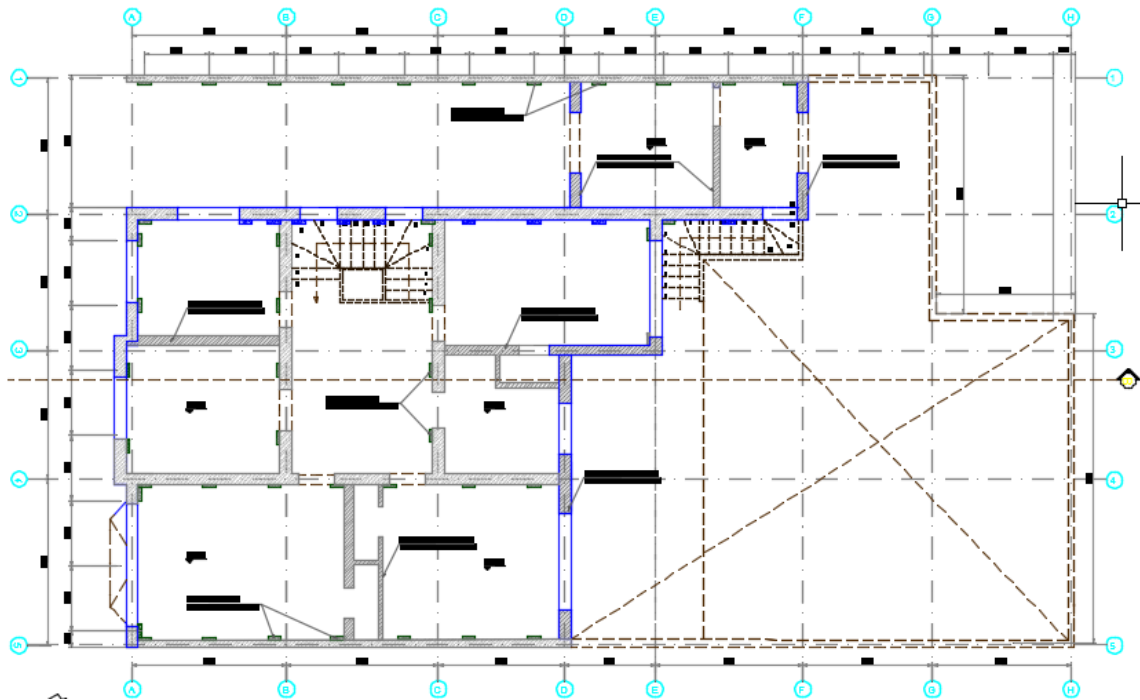


Figura 6.2.1 Planta de la casa ubicada en la carrera 18 # 34-15. Fuente : Planos de reforzamiento elaborados por el Ing. Manuel Antonio Ramírez Vargas

Teniendo en cuenta que había que conservar las fachadas y los detalles en mortero, ubicados alrededor de las ventanas, se dispusieron las varillas y láminas de acero, de tal manera que no se vieran afectados los elementos a conservar. Las figuras 6.2.2, 6.2.3, 6.2.4. y 6.2.5., muestran las fachadas principal y posterior respectivamente: Allí se puede visualizar la disposición del acero de refuerzo.

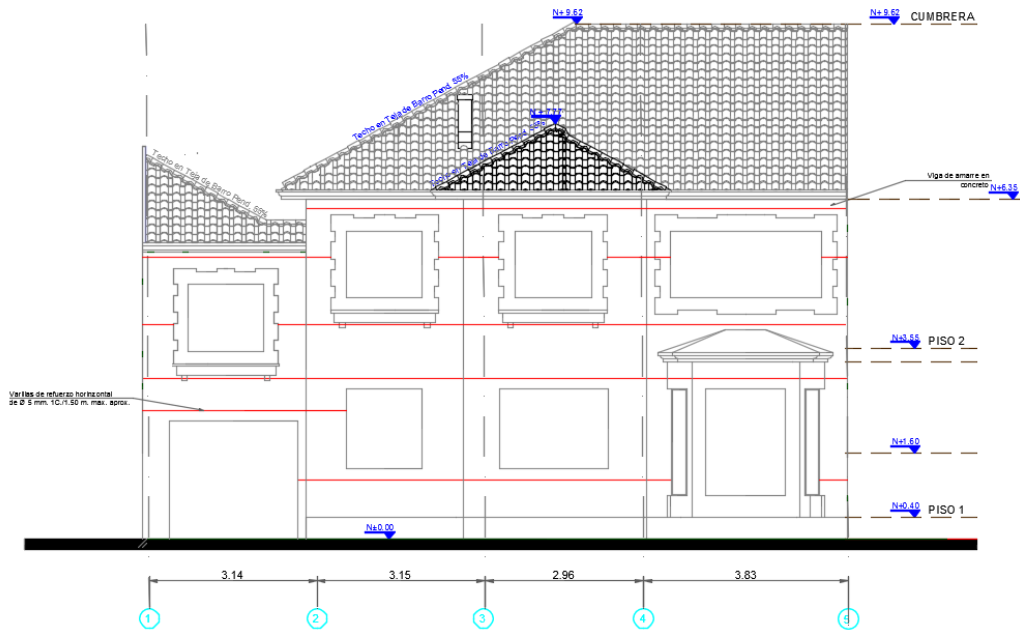


Figura 6.2.2 Distribución de las varillas de acero en la fachada principal de la casa ubicada en la carrera 18 # 34-15. Fuente: Planos de reforzamiento elaborados por el Ing. Manuel Antonio Ramirez Vargas

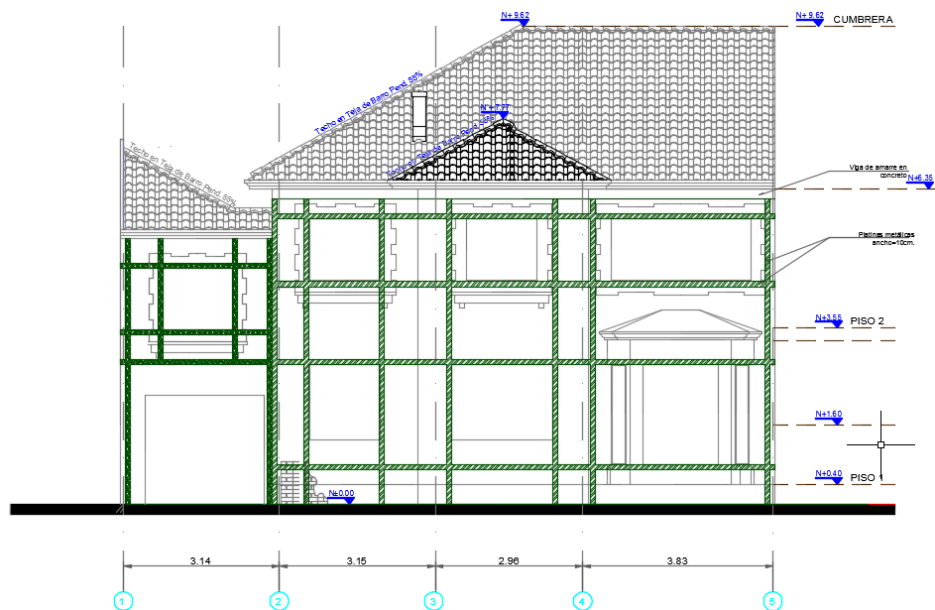


Figura 6.2.3 Distribución de las láminas de acero en la fachada principal de la casa ubicada en la carrera 18 # 34-15. Fuente: Planos de reforzamiento elaborados por el Ing. Manuel Antonio Ramirez Vargas

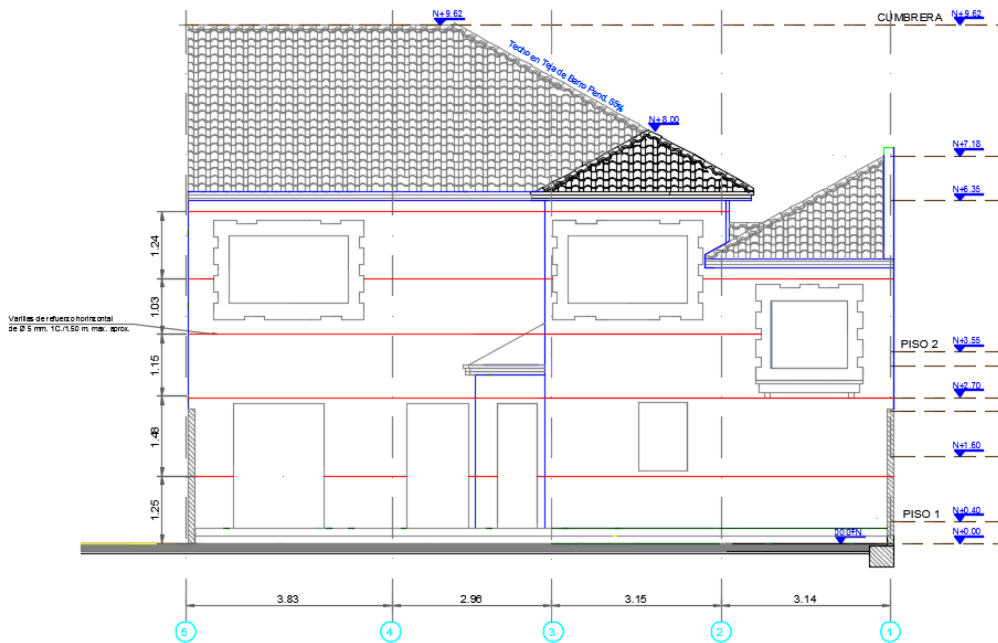


Figura 6.2.4 Distribución de las varillas de acero en la fachada posterior de la casa ubicada en la carrera 18 # 34-15. Fuente: Planos de reforzamiento elaborados por el Ing. Manuel Antonio Ramirez Vargas

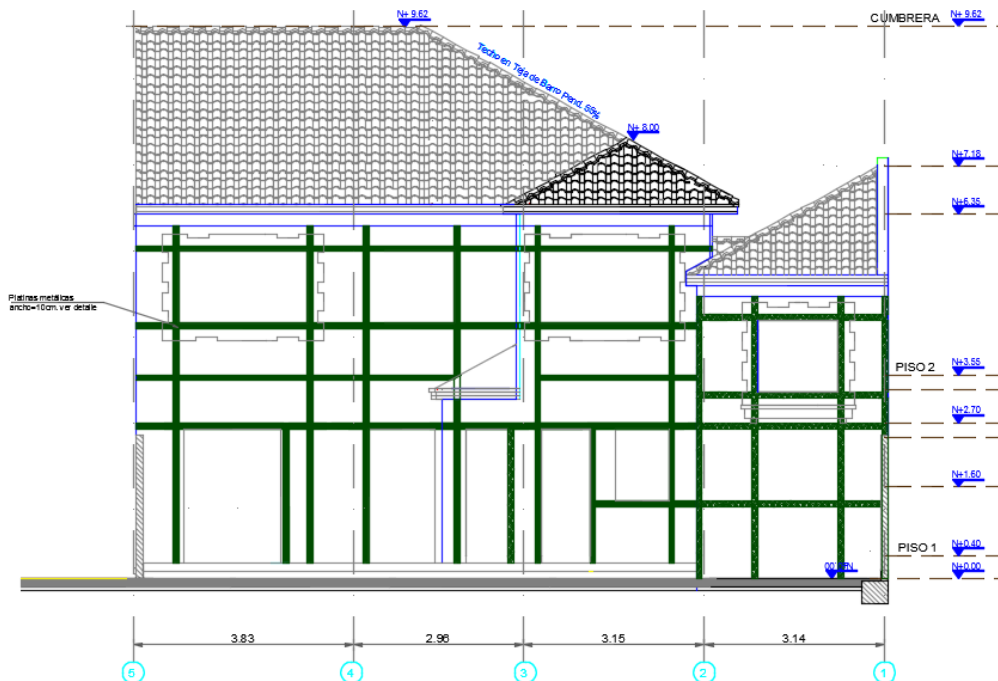


Figura 6.2.5. Distribución de las láminas de acero en la fachada posterior de la casa ubicada en la carrera 18 # 34-15. Fuente: Planos de reforzamiento elaborados por el Ing. Manuel Antonio Ramirez Vargas



### 6.3 Aspectos Técnicos del sistema

Teniendo en cuenta que en la investigación “*Comportamiento sísmico de muros de mampostería con refuerzo exterior, estudiados en modelos a escala en la mesa vibratoria*” [41], se usaron materiales similares a los del sistema que se está proponiendo y que en las pruebas se usó una señal igual a la registrada durante sismo ocurrido en el territorio Colombiano, se implementado las recomendaciones de los autores a la técnica de reforzamiento, objeto de estudio . Las recomendaciones aplicables son:

- *“La continuidad de las platinas horizontales en los muros perpendiculares se debe garantizar por medio de soldadura u otro método, como los ángulos utilizados en esta investigación.*
- *Las platinas verticales deben quedar bien ancladas a las vigas de cimentación, en la parte inferior y unida a la viga tipo C en la parte superior.*
- *Se debe utilizar perfiles tipo C en la parte superior de las edificaciones con el fin de rigidizar el diafragma de entrepiso.*
- *La continuidad de las platinas se debe garantizar también para la viga de acero tipo C.*
- *Los anclajes a la viga de cimentación deben garantizar que el perno este entrando al núcleo de concreto confinado de dicha viga.*
- *Se debe garantizar una unión entre las platinas ubicadas cada una de las caras del muro, esto se logra con pernos pasantes ubicados a una distancia aproximada de 50cm.*
- *Se debe utilizar refuerzo en las esquinas de las edificaciones con el fin de impedir la falla que se observó en el modelo.*
- *Se debe garantizar que los elementos de anclaje de la cubierta estén anclados de tal manera que no produzcan una falla local, es decir deben llegar hasta los ladrillos confinados por las vigas tipo canal.”. [41]*

No sobra aclarar, que en la implementación del sistema en la rehabilitación descrita en el numeral 6.2., la viga de remate se construyó en concreto reforzado y se unió a los muros de fachada mediante anclajes químicos. Esta viga cumple la misma función de la viga de acero en C, a la que los autores de la investigación hacen referencia, en sus recomendaciones.

### 6.3.1 Proceso de reforzamiento

Inicialmente, se colocó el entramado de láminas de acero adheridas a la parte interior del muro, mediante anclajes mecánicos, conformados por pernos roscados de acero grado 5, con cabeza redonda y adhesivo epóxico Sika Anchorfix 4. Los pernos de 15 cm, de longitud y 7 mm de diámetro se anclaron a los muros, a través de las perforaciones previamente dispuestas en las láminas, cada 50 cm, para lo cual se adelantaron las siguientes actividades:

- Replanteo manual.
- Demolición de cielos rasos de malla pañete.
- Demolición de pañetes de muro, en mal estado –ver imagen 6.3.1.
- Desmonte de pisos de listón y excavación manual, hasta la cimentación en donde se requería pasar las láminas.
- Demolición de cielos rasos de malla pañete, en donde se requería pasar las láminas.
- Preparación de las superficies de contacto de las láminas de acero, con el corte y demolición del pañete - ver imagen 6.3.2.
- Fabricación de las láminas de acero de 37.000 psi, de 10 cm x 2.5 mm, de espesor, con perforaciones de 9 mm, cada 50, cm.
- Pintura de las láminas, con dos manos de anticorrosivo.
- Disposición de las láminas sobre las superficies de ladrillo.
- Anclaje químico de las platinas, con pernos de acero y adhesivo epóxico Sika Anchorfix 4, a los cimientos. ver imagen 6.3.3.
- Anclaje mecánico de las platinas, con pernos de acero y adhesivo epóxico Sika Anchorfix 4, a los muros. ver imágenes 6.3.4, 6.3.5 y 6.3.6.



Imágenes 6.3.1. y 6.3.2 , demolición de pañetes en mal estado, afectados por la humedad (imagen del lado izquierdo) y . Preparación de las superficies de contacto de las láminas de acero, con el corte y demolición del pañete. Fuente Imágenes propias



Imágenes 6.3.3. y 6.3.4 , anclaje de las láminas de acero a la cimentación de la edificación (imagen del lado izquierdo) y . anclaje químico del perno de acero, en el cruce de dos platinas . Fuente Imágenes propias



Imágenes 6.3.5 y 6.3.6. Instalación de las láminas de acero en los muros de las fachadas principal y lateral, respectivamente. Fuente Imágenes propias

La segunda etapa del reforzamiento. Se hizo por la parte externa de los muros, mediante varillas colocadas en ranuras, hechas por las juntas de ladrillo, simultáneamente colocaron los estribos de acero dispuestos en el interior del muro, mediante perforaciones transversales, hechas con broca de 8.5 mm. La función de los estribos es vincular estas varillas con las láminas de acero, para que estos elementos funcionen en conjunto. Para ejecutar este proceso se adelantaron las siguientes actividades:

- Retiro del emboquillado de los muros, en las zonas indicadas en los planos estructurales, para producir una ranura de 2,5 cm. de profundidad y 1.5 cm. de ancho. Allí se instalarán las varillas de acero de 0.63 cms. de diámetro- ver imagen 6.3.7.
- Perforación transversal, del muro con broca de 0.9 cm de diámetro, por la dilatación y en zonas aledañas a las láminas colocadas al interior del muro- ver imagen 6.3.8.
- Corte y figuración del acero de refuerzo de 60.000 psi, en varillas y estribos de 0.63 cm de diámetro.
- Soldadura de los estribos abiertos, a las varillas - ver imagen 6.3.9.
- Instalación simultánea de los estribos abiertos, a través de las perforaciones y de las varillas, en las ranuras longitudinales - ver imágenes 6.3.10., 6.3.11. y 6.3.12.
- Cierre de los estribos, sobre las platinas, ubicadas al interior de los muros.
- Soldadura de los estribos a las platinas. - ver imágenes 6.3.11., 6.3.12. y 6.3.13.





Imagen 6.3.7. Ranura en la zona de la pega. Fuente Imagen propia



Imagen 6.3.8. perforaciones para colocar los estribos de acero abiertos. Fuente Imagen propia



Imagen 6.3.9., Soldadura del estribo a la varilla. Fuente Imagen propia



Imagen 6.3.10. Instalación simultánea de los estribos abiertos, a través de las perforaciones y de las varillas, en las ranuras longitudinales. Fuente Imagen propia



Imagen 6.3.11. Instalación simultánea de los estribos abiertos, a través de las perforaciones y de las varillas, en las ranuras longitudinales, en la fachada lateral. Fuente Imagen propia



Imagen 6.3.12. Instalación simultánea de los estribos abiertos, a través de las perforaciones y de las varillas, en las ranuras longitudinales, en la fachada principal. Fuente Imagen propia





Imágenes 6.3.13 y 6.3.14 Doblaje de los estribos, amarando las platinas, ubicadas al interior de los muros y Soldadura de un estribo a las platinas, respectivamente. Fuente Imágenes propias



Imagen 6.3.15, Soldadura de los estribos a las platinas. Fuente Imagen propia

La parte final de proceso consiste en la construcción de la viga de concreto armado, de remate de los muros; la reposición de los pañetes, sobre las de láminas de acero y el emboquillado con mortero de cemento de las ranuras donde se instalaron las varillas. Para ejecutar estos procesos se adelantaron las siguientes actividades:

- Replanteo manual.
- Sobrecubierta Temporal de polietileno y madera.
- Desmonte de la teja de barro.
- Desmonte canal y bajantes lámina galvanizada.
- Desmonte del tendido de guadua de la cubierta.
- Desmonte estructura de madera de la cubierta.
- Lleno de vacíos, que quedaron en los muros, luego del retiro de la madera.
- Perforación, con broca de 1,3 cm de diámetro, para colocar las varillas de anclaje, en la parte superior de los muros, según se indica en los planos estructurales.
- Corte y figuración del acero de refuerzo, para los anclajes y la armadura de las vigas.
- Anclaje químico de varillas, en L, con adhesivo epóxico Sika Anchorfix 4 - ver imagen 6.3.16.
- Amarre del acero de la viga de coronamiento- ver imágenes 6.3.17 y 6.3.18.
- Soldadura de las láminas de acero a la armadura de la viga- ver imagen 6.3.19.
- Instalación de las formaletas de madera - ver imagen 6.3.20.
- Fundida de las vigas con concreto corriente de 3.000 psi- ver imagen 6.3.20.
- Amarre de malla metálica con vena, sobre, las láminas metálicas- ver imágenes 6.3.22. y 6.3.23.
- Aplicación de pañete, rico en cemento, en proporción 1:4, en las franjas donde se instalaron las láminas metálicas- ver imagen 6.3.24.
- Emboquillado con mortero de cemento de las ranuras donde se instalaron las varillas.
- Retiro de los excesos de mortero, de la superficie de ladrillo.





Imágenes 6.3.16 y 6.3.17 Anclaje químico de varillas, en L, con adhesivo epóxico (imagen de la izquierda) y , amarre de la canasta de acero con las varillas el L, respectivamente. Fuente Imágenes propias



Imagen 6.3.18, amarre de la canasta de acero con las varillas el L. Fuente Imagen propia



Imagen 6.3.19, Soldadura de las láminas de acero a la armadura de la viga. Fuente Imagen propia



Imagen 6.3.20, Instalación de la formaleta de madera. Fuente Imagen propia

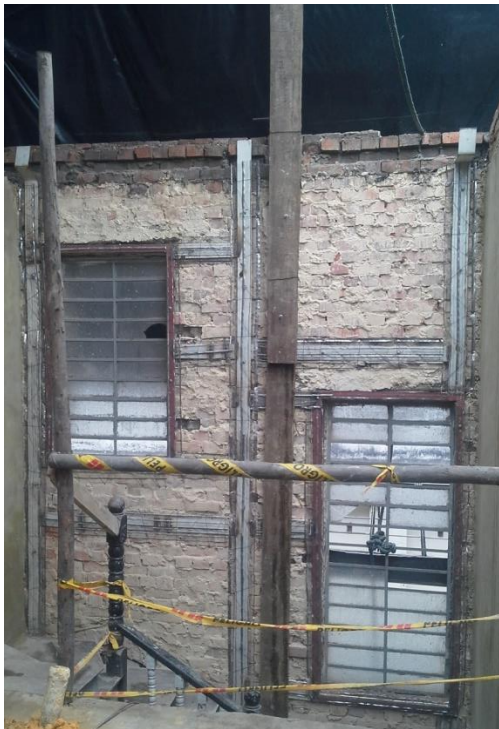


Imagen 6.3.21, Fundida de la viga de coronamiento del muro. Fuente Imagen propia





Imagen 6.3.22, Amarre de malla metálica con vena, sobre, las láminas metálicas. Fuente Imagen propia



Imágenes 6.3.23 y 6.3.24 Amarre de malla metálica con vena, sobre, las láminas metálicas (imagen de la izquierda) y , pañete sobre los muros reforzados, respectivamente. Fuente Imágenes propias

Los terminados al interior y exterior del muro de fachada son los mismos que se emplean en una obra tradicional; es decir lavado e impermeabilización de ladrillo a la vista y pintura sobre estuco, al interior del muro.

### 6.3.2 Rendimientos de obra

Estos fueron determinados luego de la culminación del proceso de reforzamiento de las fachadas. Para ello se tuvo en cuenta la cantidad de tiempo que tomaron las cuadrillas para adelantar cada una de las actividades necesarias para reforzar los 425 m<sup>2</sup> de fachada. Los rendimientos unitarios se calcularon, dividiendo el total del tiempo, de cuadrilla, empleado en cada actividad, por la cantidad de obra adelantada por estas cuadrillas. Según esto, los rendimientos parciales y totales fueron los siguientes:

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	RENDIMIENTO UNITARIO	TIEMPO TOTAL
<b>Cuadrilla oficial + ayudante</b>				
Preparación de la superficie	ml	545,43	0,288	157,
Lámina de acero cal 2.5 mms	ml	545,43	0,510	278
Pañete 1:4 sobre malla	MI	545,00	0,360	196
Vigas de confinamiento de Concreto de 3000 Psi	ml	72,13	0,960	69
Anclajes de 1/2"	Un	240,42	0,160	38
<b>Cuadrilla Soldador + ayudante</b>				
Varilla instalada en la juntas de morteo	MI	360,63	0,280	101
<b>TOTAL RENDIMIENTOS DE OBRA</b>				
Cuadrilla oficial + ayudante	Horas			739
Cuadrilla Soldador + ayudante	horas			100
<b>TOTAL HORAS DE CUARDILLA</b>				840,04

Tabla 6.3.2. Rendimientos de obra, parciales y totales. Fuente: elaboración propia

### **6.3.3 Facilidad de construcción**

Para evaluar este factor, se valoró el grado de calificación del personal de obra, que elaboró el reforzamiento, el grado de supervisión y el grado de calificación del supervisor técnico.

Para la selección de personal se exigió experiencia en reforzamiento de edificaciones y en la construcción de estructuras de concreto. También se contrató un soldador calificado, con experiencia en la construcción de estructuras metálicas. La experiencia solicitada es similar a la que se tiene que tener hoy en día para adelantar obras de mediana complejidad, por lo que no se tuvo ninguna dificultad en la consecución del personal de obra.

Adicionalmente, a todo el personal se le brindo capacitación avanzada en trabajos en altura, en cumplimiento de la normativa vigente, en materia de seguridad industrial.

Teniendo en cuenta el grupo de uso al cual pertenece la edificación, objeto de la rehabilitación y el área de la edificación, por norma, no requiere de la supervisión técnica. No obstante, se contrató un arquitecto residente de obra, con una experiencia profesional de 25 años y una dedicación de medio tiempo. La dedicación resulto suficiente para este reforzamiento de mediana complejidad.

## **6.4 Aspectos Económicos**

En el capítulo cuarto se han establecido los costos actualizados de los sistemas de reforzamiento, mencionados en el capítulo tercero y se establecieron comparativos entre estos sistemas, con la mampostería parcialmente reforzada, y con la mampostería de muros confinados, sistemas que actualmente se está empleado en nuestro medio Colombiano.

En este aparte, se hace un informe de los costos en que se incurrió para para adelantar cada una de las actividades necesarias para reforzar los 425 m<sup>2</sup> de fachada, en pesos Colombianos del año 2015 y en SMMLV. Y un comparativo con los otros sistemas de reforzamiento estudiados. Cabe anotar que los costos de construcción fueron similares a los presupuestados inicialmente.

### 6.4.1 Costos de construcción

DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VALOR INSUMO	VALOR UNITARIO	CANTIDAD INSUMO	VALOR TOTAL	VR. EN SMMLV
<b>Preparación de la superficie</b>	<b>ml</b>	<b>545</b>		<b>\$ 7.243</b>		<b>\$ 3.950.373</b>	<b>6,13</b>
Andamio - sección	día	0,220	\$ 2.436	\$ 536	119,994	\$ 292.304	0,45
Herramienta menor	gl	0,500	\$ 1.000	\$ 500	272,713	\$ 272.713	0,42
Cinzel para demolición	un	0,010	\$ 38.200	\$ 382	5,454	\$ 208.352	0,32
Pulidora manual en alquiler	día	0,010	\$ 19.500	\$ 195	5,454	\$ 106.358	0,17
Disco para pulidora	un	0,017	\$ 26.225	\$ 446	9,272	\$ 243.164	0,38
Cuadrilla oficial + ayudante	hc	0,288	\$ 18.010	\$ 5.184	156,995	\$ 2.827.482	4,39
<b>Lámina de acero cal 2.5 mms</b>	<b>ml</b>	<b>545</b>		<b>\$ 19.311</b>		<b>\$ 10.532.882</b>	<b>16,35</b>
Andamio - sección	día	0,220	\$ 2.436	\$ 536	119,99	\$ 292.304	0,45
Herramienta menor	gl	0,020	\$ 1.000	\$ 20	10,91	\$ 10.909	0,02
Lámina ancho= 10 cms e= 2.5	ml	1,010	\$ 5.833	\$ 5.892	550,88	\$ 3.213.525	4,99
Taladro percutor	día	0,010	\$ 25.000	\$ 250	5,45	\$ 136.356	0,21
Broca 9,5 mm	Unidad	0,010	\$ 12.500	\$ 125	5,45	\$ 68.178	0,11
Adhesivo epoxico	cartucho	0,059	\$ 42.900	\$ 2.524	32,08	\$ 1.376.396	2,14
Perno roscado	Unidad	2,000	\$ 390	\$ 780	1.090,85	\$ 425.432	0,66
Cuadrilla oficial + ayudante	hc	0,510	\$ 18.010	\$ 9.185	278,167	\$ 5.009.783	7,77
<b>Pañete 1:4 sobre malla</b>	<b>MI</b>	<b>545</b>		<b>\$ 10.264</b>		<b>\$ 5.593.956</b>	<b>12,12</b>
Cemento gris	Kg	2,660	\$ 525	\$ 1.397	1.449,700	\$ 761.093	1,65
Arena de Peña	m3	0,010	\$ 75.000	\$ 750	5,450	\$ 408.750	0,89
Malla con vena	un	0,250	\$ 3.800	\$ 950	136,250	\$ 517.750	1,12
Andamio	día	0,080	\$ 5.000	\$ 400	43,600	\$ 218.000	0,47
Cuadrilla oficial + ayudante	hc	0,360	\$ 18.799	\$ 6.768	196,200	\$ 3.688.364	7,99
<b>Varilla instalada en la juntas de</b>	<b>MI</b>	<b>361</b>		<b>\$ 15.906</b>		<b>\$ 5.735.941</b>	<b>12,43</b>
Cemento gris	Kg	0,304	\$ 525	\$ 160	109,630	\$ 57.556	0,12
Arena de Peña	m3	0,001	\$ 75.000	\$ 75	0,361	\$ 27.047	0,06
Acero de refuerzo	Kg	6,800	\$ 1.300	\$ 8.840	2.452,250	\$ 3.187.925	6,91
Andamio	día	0,008	\$ 5.000	\$ 40	2,885	\$ 14.425	0,03
Equipo de soldadura	día	0,020	\$ 23.200	\$ 464	7,213	\$ 167.330	0,36
Soldadura 7018	Kg	0,016	\$ 7.554	\$ 121	5,770	\$ 43.587	0,09
Acero de refuerzo	Kg	0,320	\$ 1.300	\$ 416	115,400	\$ 150.020	0,33
Cuadrilla oficial + ayudante	hc	0,280	\$ 20.679	\$ 5.790	100,975	\$ 2.088.052	4,52
<b>Vigas de confinamiento de Concreto de 3000 Psi</b>	<b>ml</b>	<b>72,13</b>		<b>\$ 48.227,04</b>		<b>\$ 3.478.375</b>	<b>7,54</b>
Concreto 3000 psi	m3	0,040	\$ 366.450	\$ 14.658	2,885	\$ 1.057.208	2,29
Herramienta menor	gl	0,900	\$ 1.000	\$ 900	64,913	\$ 64.913	0,14
Formaleta	m2	0,222	\$ 18.000	\$ 4.000	16,028	\$ 288.500	0,63
Alambre negro	Kg	0,227	\$ 3.450	\$ 782	16,348	\$ 56.402	0,12
Acero de refuerzo	Kg	6,800	\$ 1.300	\$ 8.840	490,450	\$ 637.585	1,38
Vibrador	d	0,040	\$ 25.000	\$ 1.000	2,885	\$ 72.125	0,16
Cuadrilla oficial + ayudante	hc	0,960	\$ 18.799	\$ 18.047	69,240	\$ 1.301.643	2,82
<b>Anclajes de 1/2"</b>	<b>Un</b>	<b>240</b>		<b>\$ 6.726</b>		<b>\$ 1.617.048</b>	<b>3,50</b>
Andamio - sección	día	0,044	\$ 2.436	\$ 107	10,578	\$ 25.769	0,06
Taladro percutor	día	0,045	\$ 25.000	\$ 1.125	10,819	\$ 270.469	0,59
Acero de refuerzo	Kg	0,450	\$ 1.300	\$ 585	108,188	\$ 140.644	0,30
Broca 13 mm	hc	0,010	\$ 18.500	\$ 185	2,404	\$ 44.477	0,10
Adhesivo epoxico	cartucho	0,040	\$ 42.900	\$ 1.716	9,617	\$ 412.555	0,89
Cuadrilla Soldador + ayudante	hc	0,160	\$ 18.799	\$ 3.008	38,467	\$ 723.135	1,57

Tabla 6.4.1. Costos unitarios y totales del reforzamiento de las fachadas, expresados en pesos colombianos del año 2015 y en SMMLV. Fuente: elaboración propia

### **6.4.2 Comparación de costos con otros sistemas de reforzamiento**

Basados en los comparativos de precios, calculados a partir de los análisis de precios unitarios de los sistemas de reforzamiento del capítulo cuarto, se elaboró un cuadro comparativo de costos, en donde se incluyó el costo por metro cuadrado del sistema propuesto, que se está estudiando. El cuadro comparativo está expresado en pesos colombianos del año 2015 y en salarios mínimos mensuales legales vigentes en Colombia (SMMLV). La actualización de costos, para años subsiguientes, se podrá hacer multiplicando esta cifra, por el valor del salario mínimo, que este vigente para entonces.

Se aclara que para efectos del comparativo, solo se incluyó el sistema básico que se puede visualizar en las imágenes 6.1.1. y 6.1.2. No se tomó en cuenta el costo de la viga de coronamiento del muro, ni los anclajes que vinculan la viga con el muro a reforzar, por cuanto, ésta se debió construir para el caso de estudio específico y no siempre será necesario construirla.

El sistema propuesto se incluyó dentro del grupo que se ha denominado Reforzamiento con elementos laminares. Al compararlo con el costo de los otros sistemas de reforzamiento; de este grupo, el sistema propuesto tiene costo intermedio, siendo los más costosos, los materiales laminares compuestos y los más económicos continúan siendo los reforzamientos con platinas de acero, con listones de madera o con láminas de PET, reciclado.

El sistema propuesto es ligeramente más costoso que la mampostería parcialmente reforzada y más económico que la mampostería confinada (que es el sistema que más se usa en nuestro medio para las mamposterías de las edificaciones nuevas), por lo que resulta más económico implementarlo que demoler las mamposterías antiguas y reemplazarlas por mamposterías nuevas

El sistema es más económico que otros sistemas de reforzamiento, igualmente eficiente, como los que se hacen a partir de concreto reforzado, perfiles estructurales o con morteros tipo grouting e inyecciones de epóxico. El comparativo está contenido en la Tabla 6.4.2. Comparativo de costos de los sistemas de reforzamiento.

TECNICAS DE REFORZAMIENTO DE MAMPOSTERIA		COSTO DE REFORZAMIENTO	COSTO EN SMMLV
REFORZAMIENTO CON ELEMENTOS LAMINARES	FIBRAS DE CARBONO CON MATRIX DE RESINA DE POLIMEROS (FCRP)	\$ 173.559	0,269
	VARILLAS FIBRA DE VIDRIO	\$ 87.017	0,135
	PLATINAS O CORREAS DE ACERO	\$ 43.683	0,068
	LAMINAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) RECICLADO	\$ 42.757	0,066
	LISTONES DE MADERA	\$ 43.249	0,067
	<b>LAMINAS Y VARILLAS DE ACERO (SISTEMA PROPUESTO)</b>	<b>\$ 60.740</b>	<b>0,094</b>
REFORZAMIENTO CON MALLAS	MALLAS ELECTROSOLDADAS Y CON PAÑETE 1:4	\$ 48.407	0,075
	MALLAS DE POLIMERO Y PAÑETE	\$ 48.035	0,075
	POLIMEROS - PP BAND Y PAÑETE	\$ 45.040	0,070
	3.2.4 TEJIDO BIDIRECCIONAL DE FIBRA DE VIDRIO	\$ 207.396	0,322
REFORZAMIENTO CON ELEMENTOS METALICOS	CABLES DE ACERO	\$ 71.427	0,111
	PERFILES DE ACERO ESTRUCTURAL	\$ 83.036	0,129
	GRAPAS DE ACERO Y MALLAS	\$ 51.264	0,080
	ARRIOSTRAMIENTO EXTERNO CON PERFILES DE ACERO	\$ 52.256	0,081
CONCRETO REFORZADO	MAMPOSTERÍA CONFINADA CON ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS	\$ 66.200	0,103
	CONFINAMIENTO DE MUROS DE ANTEPECHO, CON ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADOS	\$ 66.200	0,103
	RECALCE DE MAMPOSTERÍA CON CONCRETO REFORZADO	\$ 67.412	0,105
REPARACIÓN DE GRIETAS	INYECCIÓN DE MORTERO FLUIDO DE CEMENTO (GROUTING)	\$ 61.607	0,096
	GROUT Y EPOXI INYECCIONES	\$ 70.780	0,110
	INYECCIÓN DE MORTERO FLUIDO DE CEMENTO Y BARRAS DE ACERO	\$ 60.762	0,094
	MAMPOSTERIA PARCIALMENTE REFORZADA	\$ 52.502	0,081
	MAMPOSTERÍA DE MUROS CONFINADOS	\$ 65.601	0,102

Tabla 6.4.2. comparativo con otros sistemas de reforzamiento de la fachadas, expresados en pesos colombianos del año 2015 y en SMMLV. Fuente: elaboración propia



## 6.5 Eficiencia del Sistema

Para evaluar la eficiencia del sistema propuesto, se tuvo en cuenta el comportamiento de la fachada durante el evento sísmico de 6.6 grados en la escala de Richter; registrado el día 10 de marzo de 2015. Después del sismo se revisó detenidamente la fachada y no se detectó ningún tipo de daño ni de fisuración, hecho que se constituye en evidencia del buen comportamiento de los muros en proceso de reforzamiento.

Para la fecha se habían instalado la totalidad de las láminas de acero, al interior de las mamposterías de fachada y todas las varillas, en el exterior de los muros y se habían soldado a los estribos de acero dispuestos en el interior del muro, cuya función es vincular las varillas y láminas de acero, para conformar un conjunto. Solo faltaba construir la viga de coronamiento, de concreto reforzado. En esta fase, se estaba desmontando la teja y la estructura de madera de la cubierta estaba cumpliendo la función de amarrar el sistema de muros.

Lo descrito anteriormente refrenda, de alguna manera, los resultados de los ensayos de la investigación "*Comportamiento sísmico de muros de exterior estudiados en modelos a escala en la mesa vibratoria*", adelantada en la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, en el año 2004, los cuales están citados en el numeral 6.3, Aspectos técnicos del sistema.



Imágenes 6.5.1. y 6.5.2 , estado de los muros de la fachada principal, luego del sismo del 10 de marzo de 2015 . Fuente Imágenes propias



Imagen 6.5.3, estado de los muros de la fachada lateral, luego del sismo del 10 de marzo de 2015 . Fuente Imagen propia

## 6.6 Aplicativo para pre-dimensionar

Se tiene en cuenta que las fachadas de mampostería no reforzada deben ser intervenidas estructuralmente y que se está proponiendo un sistema de reforzamiento, que se ha descrito en el presente capítulo.

En este aparte incluimos una herramienta de cálculo, que indica las cantidades de láminas acero que se deben adherir a los muros y como se deben disponer, para corregir las deficiencias que generan vulnerabilidad. Estas deficiencias se pueden detectar y medir con la herramienta de cálculo incluida en el numeral 2.1.1., del capítulo 2.

Para el presente caso el resultado es que se debe emplear la distribución I, es decir, instalar láminas verticales, cada dos metros; y horizontales, cada metro, como máximo.

12. resistencia de las laminas de acero

fy (Mpa)	299,245
----------	---------

13. Tener en cuenta la siguiente tabla para el diseño final. Laminas tipo:

TIPO	N° de láminas por m/2		dimensión		Separación		malla con vena		Peso kg	Cuantía Nominal mm <sup>2</sup> /M <sup>2</sup>
	Long	altura	Long	transv	Long	altura	Long	transv		
	un	un	mm	mm	mt	mt	mt	mt		
I	0,5	1	2,5	100	2	1	1,5	0,3	3,684	375
II	0,75	1	2,5	100	1,5	1	1,75	0,3	4,298	437,5
III	1	1	2,5	100	1	1	2	0,3	4,913	500

Coefficientes de diseño

A <sub>s</sub> Para Bogotá	0,15
A <sub>v</sub> Para Bogotá	0,20
A <sub>s</sub> Para Bogotá	0,13
A <sub>d</sub> Para Bogotá	0,06
F <sub>a</sub> (475)	1,95

F <sub>v</sub> (475)	1,70
T <sub>v</sub> (seg)	0,56
T <sub>h</sub> (seg)	3,00
A <sub>0</sub> (475) (g)	0,26
I (Grupo de	1,00

Sa	0,73
a <sub>n</sub>	2,50
R <sub>v</sub>	6,00
g (m/s <sup>2</sup> )	9,81
Mp	120

h <sub>n</sub> (m)	5,9
h <sub>eq</sub> (m)	4,425
h (edificio)	6,9
C <sub>c</sub>	0,049
α	0,75

T <sub>s</sub>	0,21
b	1,00
d	0,302
f'c (Mpa)	3
fy (Mpa)	299,245

Piso	h <sub>x</sub> (m)	a <sub>x</sub>	$F_p (k) = \frac{a_x a_p}{R_p} g M_p$	≥	$\frac{A_n I}{2} g M_p$	DIAGNOSTICO
1		0,260	127,53	≥	88,29	REFORZAR
2	3,450	0,627	307,75	≥	88,29	REFORZAR
3				≥		
4				≥		
5				≥		
6				≥		
7				≥		
8				≥		
9				≥		
10				≥		
11				≥		
12				≥		
13				≥		
14				≥		
15				≥		
16				≥		
17				≥		
18				≥		
19				≥		
20				≥		
21				≥		
22				≥		
23				≥		
24				≥		
25				≥		
26				≥		
27				≥		
28				≥		
29				≥		
30				≥		
31				≥		
32				≥		
33				≥		
34				≥		
35				≥		
36				≥		
37				≥		
38				≥		
39				≥		
40				≥		

Piso	Wu (kN/m)	Mu (KN*m)	Vu (KN)	ρ	CUANTIA mm <sup>2</sup> /mL	DISEÑO A FLEXIÓN DISTRIBUCIÓN TIPO
1	0,04	0,20	0,13	0,0000083	2,51	I
2	0,10	0,49	0,31	0,0000201	6,06	I
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						

Tabla 6.6 – Aplicativo para pre-dimensionar el reforzamiento para los muros de fachada. Fuente: Desarrollado por Jaime Alejandro Novoa Usaquén y Germán Ahumada Forero, bajo la dirección de Daniel Rojas Mora



# 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 7.1 Conclusiones

A nivel normativo, se han encontrado las causas y requerimientos para el reforzamiento de las edificaciones y sus componentes no estructurales, en especial los que hacen parte de las fachadas y los muros de cerramiento, o culatas.

Con el análisis de la normativa aplicable en Bogotá, Colombia, se han detectado algunos requerimientos especiales y no concordancias con el Reglamento NSR-10, que conviene resaltar:

- El Reglamento NSR-10 exige niveles de seguridad, acordes al el grupo de uso en el que se clasifica la edificación, sin importar la época de su construcción, de lo cual se deriva la necesidad de reforzar las edificaciones existentes, catalogadas como esenciales para la comunidad. El Código de construcciones de Bogotá, hace referencia a que se puede continuar con el uso y ocupación existente, siempre que esta no atente contra la salud o la vida de los ocupantes o de sus vecinos y no presente amenaza de ruina.
- Las provisiones contenidas en el Reglamento NSR-10, para el diseño y construcción de elementos no estructurales, son aplicables en procesos de reforzamiento de fachadas, construidas antes de la entrada en vigencia de la Norma.
- Las previsiones descritas y los tratamientos especiales, del numeral A-10.3 *Movimientos sísmicos de uso con seguridad limitada.*, contemplados en el reglamento NSR-10 reduce los niveles de resistencia o desempeño de los edificios patrimoniales. Esto para facilitar los procesos de reforzamiento y ayudar a preservar los valores estéticos, de estas edificaciones. Esto concuerda con lo indicado en el PARÁGRAFO A.3.7.1.2., del Código de construcciones de Bogotá mediante el cual se puede dar tratamiento especial a los edificios patrimoniales.

- Con la entrada en vigencia del Reglamento NSR-10, se asignan nuevas responsabilidades a fabricantes, constructores y curadores urbanos, relacionadas con la estabilidad de los elementos no estructurales, no previstas en la norma predecesora, NSR-98, en donde la responsabilidad por la estabilidad de los elementos no estructurales recaía en el autor del diseño. Es más completa y consecuente la nueva manera de asignar las responsabilidades, porque de esta manera, se involucran todos los participantes en los procesos de Diseño y construcción de edificaciones.
- El Reglamento NSR-10 le asigna la responsabilidad a los propietarios de reforzar edificaciones anteriores a su entrada en vigencia, catalogadas dentro del grupo de Uso III y IV, indicando que el desempeño de los elementos no estructurales debe catalogarse como SUPERIOR - es decir que estos elementos deberán presentar daño mínimo y su afectación, no deberá interferir con la operación de la edificación - después de la ocurrencia un sismo, menor al de diseño. En el Código de construcciones de Bogotá se asignan responsabilidades al propietario, por adecuación, cambio de uso y mantenimiento de la edificación.
- No hay concordancia en la exigencia de supervisión técnica, durante la construcción de edificaciones entre el Reglamento NSR-10 y el Código de Construcciones de Bogotá. En el reglamento, la supervisión es exigible para la construcción de estructuras, con área superior a los 3000 m<sup>2</sup> y sus elementos no estructurales, sin importar el grupo de importancia de la edificación. En el Código de Construcción de Bogotá, se exige para edificaciones mayores a 2000 m<sup>2</sup>, o con más de 25 unidades de vivienda.

Con relación a las investigaciones referenciadas en el capítulo tercero, sobre sistemas de reforzamiento y de rehabilitación se dan las siguientes conclusiones:

- En casi todas las investigaciones tienen como objetivo contrarrestar la vulnerabilidad, en las viviendas informales urbanas o rurales.
- Todas las técnicas citadas sirven para reforzamiento preventivo de mamposterías. Algunas de ellas sirven también para reparación de muros, afectados por sismo.
- Cinco de las investigaciones consultadas, contemplan las condiciones propias de mamposterías, acoplados a estructuras de concreto y la interacción entre ellas

- Las probetas y equipos de ensayo, para simulación sísmica, han evolucionado, para simular las características de sismos que han generado gran magnitud de daño. No obstante, en nuestro País, solamente la Universidad de Los Andes posee un equipo para simular sismos en modelos a escala reducida, de máximo 1 metro de ancho y 1 metro de largo, lo cual dificulta la investigación en nuestro medio.
- En las investigaciones “*Report on the state-of-the-art in the seismic retrofitting of unreinforced masonry houses by PP-Band meshes* [23], seismic retrofitting of unreinforced masonry walls by cable system [25] y Confining Masonry Using Pre-Cast Rc Element For Enhanced Earthquake Resistance, Proceedings [26] los autores han concluido que hay concordancia entre los resultados arrojados por los modelos numéricos de los programas simuladores de computador y los obtenidos en los ensayos de laboratorio, con lo cual se convalida el uso de estas herramientas para predecir los daños en las edificaciones.
- Hay amplia variedad de sistemas de reforzamiento, dado que estos generan estéticas diversas, estas pueden ser aprovechadas por los arquitectos diseñadores, encargados de la rehabilitación.
- De los sistemas de reforzamiento estudiados, están contemplados en el Reglamento NSR 10: la Mampostería parcialmente reforzada, la Mampostería confinada y la reforzada externamente. Aunque están orientados a mamposterías nuevas, son aplicables para la rehabilitación de mamposterías existentes.
- El sistema de mallas electro-soldadas, con pañete, es el único reglamentado para la rehabilitación y está orientado a la reparación de viviendas de 1 y 2 pisos construidas en bahareque, Capítulo E.7 BAHAREQUE ENCEMENTADO. Las investigaciones han demostrado que la técnica también es aplicable para otros tipos de mampostería.
- Lo indicado en los dos últimos puntos, puede constituirse en un obstáculo para implementar sistemas de reforzamiento distintos a estos. Los curadores urbanos y las oficinas de planeación pueden no aprobar reforzamientos con materiales compuestos y otros tipos de reforzamiento, por no existir referencias directas en el Reglamento NSR 10.

A nivel de costos, se pueden citar como conclusiones:

- Solo en la investigación denominada *Evaluación sísmica de mampostería no estructural reforzada con listones de madera* [17] se incluye el análisis de precios unitarios (A.P.U) y se establece el costo de elaboración y de reforzamiento de las probetas ensayadas.
- En las publicaciones especializadas, solo se encontraron análisis de precios unitarios para mamposterías sin refuerzo y no se encontró ninguna referencia a los costos de reforzamiento de mamposterías antiguas. Por esta circunstancia, también se elaboraron los A.P.U de los elementos básicos para construir mampostería parcialmente reforzada y mampostería confinada.
- Con el fin de establecer los costos de los sistemas de reforzamiento de mampostería, referenciados en el capítulo tercero, se elaboraron A.P.U., en los que se incluyeron materiales de las mismas condiciones técnicas, que se consiguen en Colombia, con precios del año 2015.
- Se encontró que los sistemas de reforzamiento; con correas de acero, con listones de madera, con PET, reciclado, son más económicos, que la mampostería parcialmente reforzada y mampostería confinada, sistemas previstos en el Reglamento NRS-10. También son más económicos los reforzamientos a partir del uso de malla electro-soldada, de malla de polímeros, con perfiles de acero o con inyección de mortero.
- Cualquiera de los sistema de reforzamiento, referenciados en el capítulo tercero, más económico que demoler las mamposterías y reemplazarlas por mampostería parcialmente reforzada y mampostería confinada.
- El sistema propuesto, es ligeramente más costoso que la mampostería parcialmente reforzada y más económico que la mampostería confinada (que es el sistema que más se usa en nuestro medio para las mamposterías de las edificaciones nuevas), por lo que resulta más económico implementarlo, que demoler las mamposterías antiguas y reemplazarlas por mamposterías nuevas.
- El sistema es más económico que otros sistemas de reforzamiento, igualmente eficiente, como los que se hacen a partir de concreto reforzado, perfiles estructurales o con morteros tipo grouting e inyecciones de epóxico El comparativo, está contenido en la Tabla 6.4.2. Comparativo de costos de los sistemas de reforzamiento.



- Pese a los mayores costos que implica cualquier sistema de reforzamiento, siempre será más importante preservar las vidas humanas, con lo cual, la inversión en reforzamiento se justifica, plenamente. No es lógico, esperar a que los muros colapsen, por efectos de los sismos, para reponerlos posteriormente.

Con la metodología de estudio de casos, se evidenciaron las siguientes situaciones:

- Algunas patologías también generan vulnerabilidad. La intervención en la Torre de la Caja de Empleados de La Policía Nacional y de Villa Salvatoriana se hizo para solucionar problemas de estabilidad.
- En todos los casos estudiados se detectaron patologías en las mamposterías de fachada, que se solucionaron durante el proceso de reforzamiento mediante técnicas de rehabilitación.
- El reforzamiento de edificaciones debe ser un proceso integral que involucre, tanto la estructura de concreto como los elementos no estructurales, con soluciones acordes a las condiciones de las fachadas. Varios de los casos estudiados no contemplaban el reforzamiento de las mamposterías, inicialmente, por lo cual se implementaron durante el reforzamiento de la estructura de concreto.
- En los dos colegios estudiados se propusieron mamposterías nuevas. En el IDE Country Sur, se demolieron completamente y se construyeron fachadas nuevas, siguiendo los diseños. En el IED Gustavo Restrepo, se modificaron, para reforzar los muros con elementos de concreto adosados y de confinamiento, su costo fue del 47%, por m<sup>2</sup>, con respecto al IED Country Sur
- El comportamiento de las fachadas reforzadas fue satisfactorio durante los eventos sísmicos, de 5.5 grados, del 24 de mayo de 2008 y de 6,6 grados, en la escala de Richter del 10 de marzo de 2015, por cuanto no se registraron colapsos ni daños. Solo se registraron fisuraciones en los pañetes de la central telefónica Chicó de la ETB. Las fisuras se presentaron en la unión de las placas de entepiso y columnas, con la mampostería. También se presentaron craquelados en algunas zonas de pañetes.

## 7.2 Recomendaciones

Aun cuando existen muchas investigaciones y grupos de investigación sobre técnicas y estrategias de reforzamiento, para disminuir la vulnerabilidad frente al evento sísmico varias de ellas mencionadas en el presente documento, sería importante indagar la efectividad de estas técnicas para afrontar otros peligros naturales: como ciclones, erosión, granizo, además del deterioro natural. Esto dentro del objetivo de preservar tanto la vida humana como también el valor económico de la edificación

Los códigos de construcción están orientados a construcciones nuevas, por lo que sería importante poder incluir capítulos dedicados al reforzamiento y fijación de los elementos no estructurales, que sirvan como referencia a diseñadores, fabricantes, curadurías, etc., y demás entes involucrados en la intervención de edificaciones existentes.

El sistema de reforzamiento que se propone, en el capítulo sexto, también podría usarse, para reforzar muros de bloque de arcilla o de ladrillos con perforaciones siguiendo algunas recomendaciones contenidas en la investigación "*Comportamiento sísmico de muros de mampostería con refuerzo exterior, estudiados en modelos a escala en la mesa vibratoria*" [41], que también son aplicables al sistema propuesto:

- *Los agujeros en los ladrillos por los cuales se atraviesan los tornillos de la rehabilitación deben ser inyectados con mortero para prevenir una falla local por desgarramiento de la pieza.*
- *Los anclajes a los elementos de confinamiento deben garantizar que los pernos estén dentro del concreto confinado de dicho elementos.*
- *Que las láminas de rehabilitación ubicadas en las diferentes caras del muro estén unidas por pernos pasantes ubicados a una distancia aproximada de 50cm.*
- *Se debe procurar que al momento de perforar el muro no se cause mucho daño a las piezas, por lo cual se recomienda que las perforaciones se realicen de ambas caras del muro. [41],*

En materia de prevención de patologías en mamposterías de fachada se dan las siguientes recomendaciones, respecto de mejoras en los procesos constructivos:

### **7.2.1 Prevención de la expansión restringida**

Para diseñar un revestimiento cerámico de fachada, se debe tener conocimiento de los valores de expansión del material a emplear, es decir de las piezas cerámicas, y controlar la humedad al interior de los muros, para lo cual se deben implementar las siguientes acciones:

- Es indispensable hacer pruebas de absorción de humedad a las piezas cerámicas.
- En caso en que sea alto el valor de expansión, esperar de 3 a 4 semanas desde la fabricación hasta la puesta en obra de las piezas cerámicas.
- Controlar y acotar la rigidez de los morteros (por resistencia).
- Emplear morteros mixtos de cemento y cal con dosificación 1:1:7.
- Prever de juntas de dilatación, a distancias de 12 a 15 m.

### **7.2.2 Prevención de las eflorescencias**

- Poner elementos de remate en los muros, con dilataciones en los bordes inferiores, diseñados para evitar el goteo sobre los muros.
- Usar impermeabilizantes o repelentes de humedad en las cantidades indicadas por los fabricantes, para controlar la humedad al interior de los muros.
- Hacer mantenimiento integral a las fachadas, emboquillados e impermeabilización como mínimo cada 10 años.



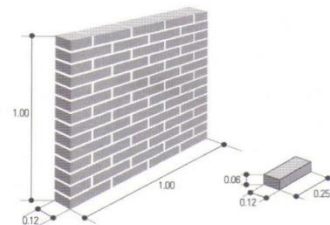
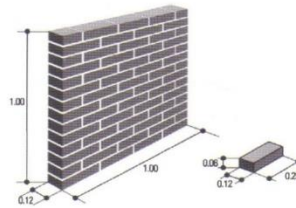
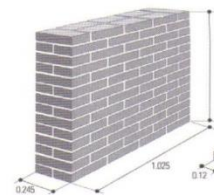
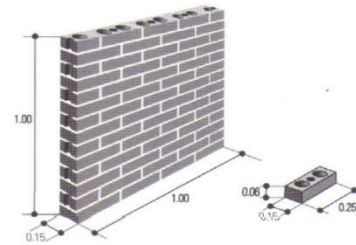
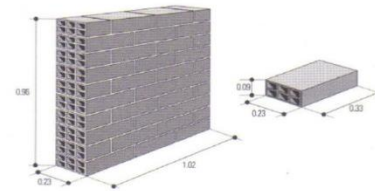
## A. Anexo: Precios resumidos de mampostería sin refuerzo.

INSUMOS / REFERENCIA	UM	BOGOTÁ		CALI		B/QUILLA		MEDELLÍN	
		M. OBRA	TOTAL	M. OBRA	TOTAL	M. OBRA	TOTAL	M. OBRA	TOTAL
<b>MAMPOSTERÍA</b>									
ALFAJIAS CONCRETO .15	m	13,208	23,585	13,208	25,479	13,208	22,103	13,208	24,933
ALFAJIAS CONCRETO .25	m	27,273	38,418	27,273	40,304	27,273	36,931	27,273	39,750
ALFAJIAS EN TABLÓN	m	13,208	21,980	13,208	21,609	13,208	21,578	13,208	21,544
ALFAJIAS LADRILLO PRENSADO	m	14,752	25,181	14,752	22,458	14,751	23,667	14,751	27,967
CHAZOS PARA CARPINTERÍA MADERA	un	2,573	4,402	2,573	4,079	2,573	4,009	2,573	4,044
CHIMENEAS 0.80	un	428,825	569,641	428,825	598,289	428,823	571,038	428,823	594,266
DINTELES CONCRETO 15X20	m	17,153	33,216	17,153	33,080	17,153	32,103	17,153	33,612
DINTELES EN BLOQUE 0.15	m	7,719	16,781	7,719	13,453	7,719	12,396	7,719	13,448
DINTELES EN VARILLA	m	7,719	15,572	7,719	16,225	7,719	15,455	7,719	17,044
ENCHAPES LADRILLO PRENSADO	m²	18,868	66,549	18,868	59,388	18,868	62,245	18,868	72,541
INSTALACIÓN CARPINTERÍA METÁLICA	m²	16,467	20,424	16,467	19,645	16,467	19,972	16,467	19,537
MESONES EN CONCRETO	m³	33,448	84,594	33,448	90,854	33,448	83,009	33,448	104,458
MURO DRYWALL - DOBLE CARA E/12	m²	0	43,814	0	40,939	0	41,845	0	43,780
MURO DRYWALL DOBLE CARA E/10 CM	m²	0	42,260	0	39,385	0	40,398	0	42,333
MURO EN BLOQUE NO.5 0.12	m²	12,865	30,609	12,865	34,699	12,865	37,628	12,865	36,920
MURO EN BLOQUE CONCRETO 0.10	m²	12,350	41,971	12,350	37,754	12,350	37,750	12,350	30,408
MURO EN BLOQUE CONCRETO 0.20	m²	19,211	66,545	19,211	63,704	19,211	63,688	19,211	57,257
MURO EN BLOQUE NO.4 0.10	m²	20,412	40,202	20,412	43,100	20,412	45,641	20,412	44,943
MURO EN BLOQUE NO.5 0.23	m²	19,726	55,335	19,726	63,553	19,726	69,436	19,726	68,016
MURO EN LADRILLO ESTRUCTURAL 0.15	m²	17,153	68,181	17,153	79,791	17,153	87,832	17,153	86,992
MURO PRENSADO S FE 0.245	m²	29,160	123,053	29,160	137,012	29,160	148,317	29,160	145,345
MURO PRENSADO SANTA FE 0.12	m²	18,182	63,276	18,182	73,264	18,182	65,869	18,182	78,322
MURO RECOCIDO 0.12	m²	18,525	36,528	18,525	48,846	18,525	49,917	18,525	41,922
MURO RECOCIDO 0.25	m²	31,905	70,240	31,905	43,540	31,904	122,710	31,904	80,523
MURO TERMOACÚSTICO CON PAÑETE	m²	21,853	75,857	21,853	75,798	21,853	76,101	21,853	75,941
MURO TOILETE COMÚN 0.12	m²	12,865	35,109	12,865	52,288	12,865	53,766	12,865	43,065
MURO TOILETE COMÚN 0.25	m²	23,500	71,881	23,500	104,751	23,499	68,987	23,499	85,059
REMATES LADRILLO PRENSADO	m	15,095	27,875	15,095	24,569	15,095	26,085	15,095	31,302
SOBRECIMENTOS 0.15	m	13,722	28,355	13,722	30,699	13,722	32,924	13,722	29,683
SOBRECIMENTOS 0.25	m	19,211	42,949	19,211	47,920	19,211	51,900	19,211	46,006

Fuente: **REVISTA CONSTRUDATA**. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015 [36].

## B. Anexo: Análisis de precios unitarios de muros de mampostería no reforzada

ANÁLISIS	UM	CANT.	BOGOTÁ	CALI	B/QUILLA	MEDELLÍN
<b>MURO EN BLOQUE NO.5 0.23</b>						
					<b>m<sup>2</sup></b>	
BLOQUE NO. 5 SANTAFÉ	un	26.65	29,315	0	0	0
BLOQUE NO. 5 SANTAFÉ	un	26.65	0	0	44,559	0
BLOQUE NO. 5 SANTAFÉ	un	26.65	0	0	0	43,280
BLOQUE NO. 5 SANTAFÉ	un	26.65	0	38,669	0	0
MANO DE OBRA AA	hc	1.15	19,726	19,726	19,726	19,726
MORTERO 1:4	m <sup>3</sup>	0.02	6,294	5,158	5,152	5,011
			<b>55,335</b>	<b>63,553</b>	<b>69,436</b>	<b>68,016</b>
<b>MURO EN LADRILLO ESTRUCTURAL 0.15</b>						
					<b>m<sup>2</sup></b>	
AGUA	lt	5.25	105	105	105	105
ARENA FINA	m <sup>3</sup>	0.02	0	557	0	0
ARENA LAVADA (ARROYO DE PIEDRA)	m <sup>3</sup>	0.02	0	0	916	0
ARENA LAVADA DE RÍO	m <sup>3</sup>	0.02	580	0	0	0
ARENA LAVADA PARA CONCRETO	m <sup>3</sup>	0.02	0	0	0	580
CAL NARE	kg	0.50	445	445	320	445
CEMENTO GRIS	kg	9.53	4,879	4,479	4,670	4,574
LADRILLO PORTANTE PRENSADO	un	38.08	0	53,502	0	0
LADRILLO PORTANTE PRENSADO	un	38.08	0	0	0	60,585
LADRILLO PORTANTE PRENSADO	un	38.08	0	0	61,118	0
LADRILLO PORTANTE PRENSADO	un	38.08	41,469	0	0	0
MANO DE OBRA AA	hc	1.00	17,153	17,153	17,153	17,153
SIKA-2 (5.5 KG)	kg	0.30	3,550	3,550	3,550	3,550
			<b>68,181</b>	<b>79,791</b>	<b>87,832</b>	<b>86,992</b>
<b>MURO PRENSADO SANTA FE 0.24</b>						
					<b>m<sup>2</sup></b>	
LADRILLO PRENSADO LIVIANO SANTAFÉ	un	118.00	0	0	101,126	0
LADRILLO PRENSADO LIVIANO SANTAFÉ	un	118.00	0	89,798	0	0
LADRILLO PRENSADO LIVIANO SANTAFÉ	un	118.00	0	0	0	98,648
LADRILLO PRENSADO LIVIANO SANTAFÉ	un	118.00	71,862	0	0	0
MANO DE OBRA AA	hc	1.70	29,160	29,160	29,160	29,160
MORTERO 1:4	m <sup>3</sup>	0.07	22,031	18,054	18,031	17,537
			<b>123,053</b>	<b>137,012</b>	<b>148,317</b>	<b>145,345</b>
<b>MURO PRENSADO SANTA FE 0.12</b>						
					<b>m<sup>2</sup></b>	
LADRILLO PRENSADO MACIZO SANTAFÉ	un	59.00	0	48,911	0	0
LADRILLO PRENSADO MACIZO SANTAFÉ	un	59.00	0	0	0	53,867
LADRILLO PRENSADO MACIZO SANTAFÉ	un	59.00	0	0	41,300	0
LADRILLO PRENSADO MACIZO SANTAFÉ	un	59.00	38,881	0	0	0
MANO DE OBRA AA	hc	1.06	18,182	18,182	18,182	18,182
MORTERO PREMEZCLADO 1:5	m <sup>3</sup>	0.03	6,213	6,171	6,387	6,273
			<b>63,276</b>	<b>73,264</b>	<b>65,869</b>	<b>78,322</b>
<b>MURO RECOCIDO 0.12</b>						
					<b>m<sup>2</sup></b>	
AGUA	lt	4.63	93	93	93	93
ARENA DE PEÑA	m <sup>3</sup>	0.03	2,088	0	0	0
ARENA DE REVOQUE	m <sup>3</sup>	0.03	0	0	946	0
ARENA FINA 5 M3	m <sup>3</sup>	0.03	0	1,133	0	0
ARENA LAVADA DE PEÑA	m <sup>3</sup>	0.03	0	0	0	870
CEMENTO GRIS	kg	7.77	3,978	3,652	3,807	3,730
LADRILLO BOCADILLO RECOCIDO	un	40.84	0	0	0	18,705
LADRILLO LIMPIO 10X10X29	un	40.84	0	25,443	0	0
LADRILLO TOILETE RECOCIDO	un	40.84	11,844	0	0	0
MANO DE OBRA AA	hc	1.08	18,525	18,525	18,525	18,525
TOILETE RECOCIDO	un	40.84	0	0	26,546	0
			<b>36,528</b>	<b>48,846</b>	<b>49,917</b>	<b>41,922</b>



<b>MURO EN BLOQUE NO.5 0.12</b>			<b>m<sup>2</sup></b>			
BLOQUE NO. 5 SANTAFÉ	un	13,27	14,597	0	0	0
BLOQUE NO. 5 SANTAFÉ	un	13,27	0	0	22,187	0
BLOQUE NO. 5 SANTAFÉ	un	13,27	0	0	0	21,550
BLOQUE NO. 5 SANTAFÉ	un	13,27	0	19,255	0	0
MANO DE OBRA AA	hc	0,75	12,865	12,865	12,865	12,865
MORTERO 1:4	m <sup>3</sup>	0,01	3,147	2,579	2,576	2,505
			<b>30,609</b>	<b>34,699</b>	<b>37,628</b>	<b>36,920</b>

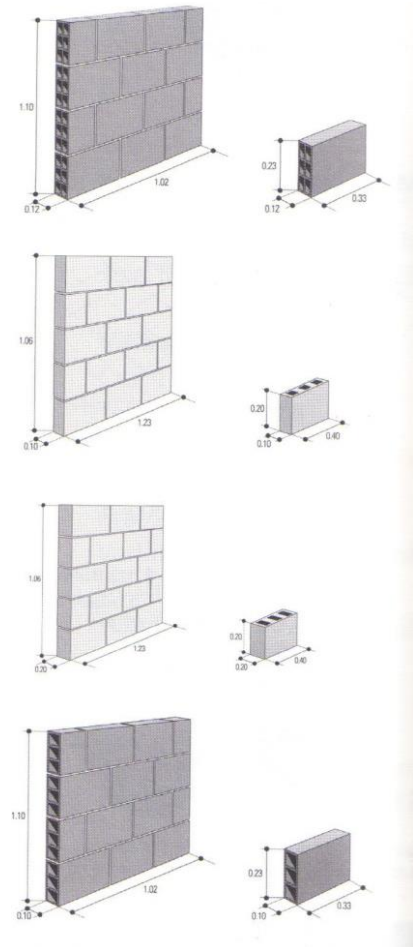
<b>MURO EN BLOQUE CONCRETO 0.10</b>			<b>m<sup>2</sup></b>			
BLOQUE CONCRETO 9X19X39	un	13,27	26,474	22,824	22,824	15,552
MANO DE OBRA AA	hc	0,72	12,350	12,350	12,350	12,350
MORTERO 1:4	m <sup>3</sup>	0,01	3,147	2,579	2,576	2,505
			<b>41,971</b>	<b>37,754</b>	<b>37,750</b>	<b>30,408</b>

<b>MURO EN BLOQUE CONCRETO 0.20</b>			<b>m<sup>2</sup></b>			
BLOQUE CONCRETO 20X20X40	un	11,49	31,598	31,598	31,598	25,519
MANO DE OBRA AA	hc	1,12	19,211	19,211	19,211	19,211
MORTERO 1:4	m <sup>3</sup>	0,05	15,736	12,896	12,879	12,527
			<b>66,545</b>	<b>63,704</b>	<b>63,688</b>	<b>57,257</b>

<b>MURO EN BLOQUE NO.4 0.10</b>			<b>m<sup>2</sup></b>			
BLOQUE NO. 4 SANTAFÉ	un	13,27	13,496	0	0	0
BLOQUE NO. 4 SANTAFÉ	un	13,27	0	0	20,078	0
BLOQUE NO. 4 SANTAFÉ	un	13,27	0	0	0	19,520
BLOQUE NO. 4 SANTAFÉ	un	13,27	0	17,530	0	0
MANO DE OBRA AA	hc	1,19	20,412	20,412	20,412	20,412
MORTERO 1:4	m <sup>3</sup>	0,02	6,294	5,158	5,152	5,011
			<b>40,202</b>	<b>43,100</b>	<b>45,641</b>	<b>44,943</b>



Fuente: **REVISTA CONSTRU DATA**. Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015 [36].





# GLOSARIO

**Amenaza sísmica:** Es el valor esperado de futuras acciones sísmicas en el sitio de interés y se cuantifica en términos de una aceleración horizontal del terreno efectiva, que tiene una probabilidad de excedencia dada en un lapso de tiempo predeterminado.

**Antepecho:** Muro de altura inferior a la del piso que configura la parte inferior de una ventana, de un vano o de un balcón.

**Albañilería:** Construcción elaborada mediante la disposición, de unidades de mampostería. Son los muros de mampostería.

**Aparejo:** patrón de colocación de las unidades de mampostería.

**Bloque:** es un tipo de pieza de mampostería que tiene huecos.

**Capacidad de disipación de energía:** Es la capacidad que tiene un sistema estructural, un elemento estructural o un elemento no estructural, de trabajar dentro del rango inelástico de respuesta sin perder su resistencia.

**Columna o columneta:** elemento estructural cuya sollicitación principal es la carga axial de compresión, acompañada o no. De momentos flectores, torsión o esfuerzos cortantes y con una relación de longitud a su menor dimensión de la sección de 3 o más.

**Conector:** elemento mecánico para unir dos o más piezas, partes o miembros.

**Construcción sismo resistente:** tipo de construcción que cumple el objetivo de reducir a un mínimo el riesgo de pérdida de vidas humanas y de defender en lo posible el patrimonio del Estado y de los ciudadanos.

**Diafragma:** conjunto de elementos estructurales, tal como una losa de entrepiso, que trasmite las fuerzas inerciales horizontales a los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica.

**Ductilidad:** capacidad que tiene un material estructural de resistir, sin fallar, deformaciones que lleven al material estructural más allá del límite elástico, o límite donde las deformaciones son linealmente proporcionales al esfuerzo o fuerza aplicada.

**Elemento estructural:** Componente del sistema estructural de la edificación.

**Elemento no estructural:** Componente de los sistemas complementarios de la edificación

**Envolvente Arquitectónica:** Conjunto conformado por las fachadas y los muros de cerramiento, o culatas, que conforma la “piel” del edificio.

**Estructura:** Es un ensamble de elementos, diseñado para soportar las cargas gravitacionales y resistir las fuerzas horizontales.

**Fisura:** Fractura o hendidura de la masa del material, por lo general, de poco ancho y profundidad.

**Fuerzas sísmicas:** son los efectos inerciales causados por la aceleración del sismo, expresados como fuerzas para ser utilizados en el análisis y diseño de la estructura.

**Individuo:** Murete de Prueba, usado en para ensayos de carga.

**Junta de construcción:** Interrupción de la colocación del material, ya sea temporal, de construcción o permanente.

**Junta de dilatación:** separación entre elementos constructivos adyacentes. Localizada en un lugar establecido, de tal manera que permita movimientos e impida la formación de fisuras y grietas.

**Junta de pega:** Capa de mortero en, utilizada para adherir las unidades de mampostería.

**Mampostería:** Construcción elaborada mediante la disposición, de unidades de mampostería. Son los muros.

**Mampostería de Concreto:** Mampostería elaborada con unidades de mampostería de concreto.

**Mampostería No estructural:** Mampostería pegada, conformada por muros que tienen como función soportar su propio peso y servir como separación entre dos espacios.

**Mortero de pega:** Mezcla plástica de materiales cementantes, agregados y agua, usada para unir las unidades de mampostería.

**Parapeto:** es muro de remate de fachada, ubicado a nivel o por encima de la cubierta

**Piso:** es el espacio comprendido entre dos niveles de una edificación.

**Pórtico:** es un conjunto de vigas, columnas y, en algunos casos, diagonales, todos ellos interconectados entre sí por medio de conexiones o nudos que pueden ser capaces de transmitir momentos flectores de un elemento a otro.

**Rehabilitación:** proceso de reparación, lo que equivale a la restitución de la capacidad original del elemento.

**Reforzamiento** Proceso para el incremento de la capacidad resistente, por encima del nivel original, En muros conlleva el incremento de sus propiedades estructurales, en cuanto a resistencia, rigidez, capacidad de deformación y de disipación de energía.

**Refuerzo:** Acero colocado para absorber esfuerzos de tracción, de compresión, de corte o de torsión en conjunto con la mampostería.

**Resistencia:** Es la capacidad útil de una estructura, o de sus miembros, para resistir cargas, dentro de los límites de deformación establecidos.

**Riesgo sísmico:** Corresponde a las consecuencias económicas y sociales, expresada en términos monetarios, o de víctimas, respectivamente, para el sitio de interés en función de su probabilidad de excedencia para un tiempo de exposición dado.

**Sismo, temblor o terremoto:** Vibraciones de la corteza terrestre inducidas por el paso de ondas sísmicas provenientes de un lugar o zona donde han ocurrido movimientos súbitos de la corteza terrestre.

**Sistema de pórtico:** Es un sistema estructural compuesto por pórtico espacial, resistente a momentos, especialmente completo, no arriostrado, que resiste todas las fuerzas verticales y las fuerzas horizontales.

**Sistema de resistencia sísmica:** es aquella parte de la estructura que según el diseño aporta la resistencia requerida para soportar los movimientos sísmicos de diseño.

**Solicitaciones:** Son las fuerzas u otras acciones que afectan la estructura, dentro de los cuales se cuentan: los efectos gravitacionales sobre su propia masa, o peso propio, las cargas generadas por los elementos no estructurales, por sus ocupantes y sus posesiones, los efectos ambientales tales como el viento o el sismo, los asentamientos

diferenciales y los cambios dimensionales causados por las variaciones en la temperatura. En general todo lo que pueda afectar la estructura.

**Tabique o muro:** Construcción elaborada mediante la disposición, de unidades de mampostería. Son los muros.

**Tarrajeo, pañete o revoque:** Es una pasta de cemento Pórtland, arena, agua y cal u otro aditivo, que se aplica en húmedo sobre el elemento a proteger.

**Traba:** Intersección continua y traslapada de dos muros

**Unidad de mampostería:** Elemento de colocación manual, de características pétreas y estabilidad dimensional, que unida con mortero configura el muro de mampostería.

**Viga:** elemento estructural horizontal, cuya dimensión longitudinal es mayor que las otras dos y su sollicitación principal es el momento flector, acompañado o no de cargas axiales, fuerzas cortantes y torsiones.

**Viga cinta o de amarre.** Elemento de concreto reforzado que sirve para amarrar a diferentes niveles los muros de una edificación.

**Viga de corona:** Elemento de concreto reforzado complementario de los cimientos en concreto ciclópeo o reforzado y que cumple funciones de amarre y repartición de cargas.

**Vulnerabilidad:** es la cuantificación del potencial de mal comportamiento de una edificación con respecto a alguna sollicitación.

**Zona de amenaza sísmica:** son regiones del país donde la amenaza sísmica se considera baja, intermedia o alta. Los requisitos de análisis y diseño estructural varían de una zona a otra.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

---

[1] **COLOMBIA, CONGRESO DE LA REPÚBLICA.** Ley 400 de 1997; por la cual se adoptan normas sobre construcciones sísmo resistentes. *Diario Oficial 43.113*. Bogotá, D.C.: s.n., 25 de agosto de 1997.

[2] **COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.** Reglamento colombiano de construcción sísmo resistente NSR-10. Bogotá, D.C.: s.n., marzo de 2010.

[3] **CONCEJO DE BOGOTÁ.** Acuerdo 20 de 1995; Modificado por el Decreto Distrital No. 74 de 2001, por el cual se adopta el Código de Construcción del Distrito Capital de Bogotá, se fijan sus políticas generales y su alcance, se establecen los mecanismos para su aplicación [...]. *Registro Oficial 1044*. Bogotá, D.C.: s.n., 20 de octubre de 1995.

[4] **CASTILLEJO, A.** Zonificación sísmica de Colombia. [En línea] 2011. Disponible en web: <<http://sismoclub2011-1.wikispaces.com/Zonificaci%C3%B3n+S%C3%ADsmica+de+Colombia>>.

[5] **VARGAS, C.** Nueva falla geológica altera mapa de amenaza sísmica en Colombia. *UN Periódico*. 7 de mayo de 2011, 144.

[6] **CARDONA, O. y OTROS.** Análisis de riesgo de desastres extremos en Colombia con fines de valoración de la exposición física. *Informe del estudio sobre definición de la responsabilidad del Estado, su exposición ante desastres naturales y diseño de mecanismos para la cobertura de los riesgos residuales del Estado*. Bogotá, D.C.: ACCL, DNP, Banco Mundial, 2005.

[7] **YAMIN, L.E y OTROS.** Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre: el caso de Bogotá, Colombia: Bogotá, D.C.: Banco Mundial, Universidad de los Andes, 2013.

[8] **ROJAS, D. y OTROS** Estudio nuevos sistemas y materiales para el diseño y construcción de muros divisorios y de fachadas en edificaciones. Bogotá, D.C.: Colciencias, Uniandes, Ladrillera Santafé, Sika, 1992.

[9] **BOSSIO, S.** Rehabilitar para mejorar la calidad de vida: Criterios y ejemplos de rehabilitación del patrimonio arquitectónico y urbano. Argentina: s.n., 2006. Congreso internacional de rehabilitación del patrimonio arquitectónico y urbano.

[10] **ROJAS, D. y OTROS** Mejoramiento y Adecuación de Fachadas en Mampostería y Elementos No Estructurales Con Anterioridad Al Reglamento Colombiano Nsr 10. [Investigación]. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2014

[11] **MONSALVE, P.** Estudio análisis y diagnóstico de los elementos no estructurales [Tesis de grado]. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2003.

[12] **RINCÓN, J.** Estudio del diseño, construcción y aplicación de los elementos no estructurales, muros divisorios y de fachada en mampostería de arcilla, frente al fenómeno sísmico [Tesis de grado]. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2012.

[13] **ALCOCER, S.** Rehabilitación de estructuras de mampostería. [aut. libro] Fundación ICA. *Edificaciones de mampostería para vivienda*. s.l.: El autor, 1999, págs. 457-560.

[14] **ALCAINO, P. y SANTA MARÍA, H.** *Resistencia al corte de muros de albañilería reforzados exteriormente con fibras*. Santiago de Chile: s.n., 2008. XXXIII Jornadas sudamericanas de Ingeniería Estructural.

[15] **SAN BARTOLOMÉ, A. y CORONEL, C.** Reforzamiento de un muro de albañilería confinada mediante fibra de carbono. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. [En línea] 2011. Disponible en web: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20110805-Reparacion-fibra%20de%20carbono.pdf>>.

- 
- [16] **TUMIALAN, G., NANNI, A. y SAN BARTOLOMÉ, A.** Comportamiento sísmico de tabiques reforzados con varillas de fibra de vidrio. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. [En línea] 2002. Disponible en web: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20070427-URM%20Infills-Varillas%20de%20fibra%20de%20vidrio.pdf>>.
- [17] **RAMÍREZ, H. y CARREÓN, B.** *Experimental study on masonry walls strengthened with steel and plastic straps*. Vancouver, B.C., Canadá: s.n., 2004. 13th word conference on earthquake engineering. Paper No. 1995.
- [18] **MOLANO, M. y SERRANO, A.** Rehabilitación sísmica de mampostería no estructural reforzada con listones de madera [Tesis de grado]. Bogotá, D.C.: Pontificia Universidad Javeriana, 2005.
- [19] **SERRANO, M.** Reforzamiento de estructuras de mampostería con láminas de tereftalato de polietileno [Tesis de grado]. Bogotá, D.C.: Universidad de los Andes, 2004.
- [20] **SAN BARTOLOMÉ, A., ARATA, A. y DÍAZ, V.** Investigación, arriostramiento de tabiques de albañilería existentes en fachadas de edificios con voladizos. *Universidad Católica del Perú*. [En línea] 2007. Disponible en web: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20070424-Arriostramiento%20de%20tabiques%20existentes.pdf>>.
- [21] **SAN BARTOLOMÉ, A y CASTRO, A.** Investigación Reparación de un muro de albañilería confinada. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. [En línea] 2007. Disponible en web: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20070427-Reparaci%F3n-Muro%20Confinado%20.pdf>>.
- [22] **SAN BARTOLOMÉ, A., BARR, K y PINEDA, C.** Control de la trituración de los ladrillos huecos mediante malla Electro soldada en muros de albañilería confinada. *Pontificia Universidad católica del Perú*. [En línea] 2011. Disponible en web: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20110924-Ladrillos%20huecos%20y%20malla%20electrosoldada.pdf>>.

[23] **TORREALVA, D.** Refuerzo de muros y tabiques de albañilería con mallas de polímero. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. [En línea] 2007. Disponible en web: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20071017-Torrealva-Polimero.pdf>>.

[24] **MAYORCA, P., NAVARATNARAJ, S., y MEGURO, K.** *Report on the state-of-the-art in the seismic retrofitting of unreinforced masonry houses by PP-Band meshes*. Tokyo: International Center for Urban Safety Engineering. Institute of Industrial Science. University of Tokyo, 2006.

[25] **MORANDI, G.** La Facultad de Ingeniería de la "Università degli Studi di Napoli Federico II. Italia: s.n., 2013.

[26] **CHUANG, S., ZHUGE, Y y MCBEAN, P.** *Seismic retrofitting of unreinforced masonry walls by cable system*. Vancouver, B.C., Canadá: s.n., 2004. 13th. Word Conference on Earthquake Engineering. Paper No. 3228.

[27] **PAIKARA, S y RAI, D.** *Confining Masonry Using Pre-Cast Rc Element For Enhanced Earthquake Resistance*. San Francisco, California: s.n., 2006. Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering. Paper No. 1177.

[28] **CAMPBELL, J, y OTROS.** *A16-01 Ensayos de muros de albañilería armada dañados y Reparados sometidos a carga horizontal dinámica*. Concepción: Universidad de Concepción, Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica, 2005. Congreso Chileno de Sismología de Ingeniería Antisísmica. IX Jornadas. Disponible en web: <http://es.scribd.com/doc/55545307/Albaileria-Ensayo-de-Muros>.

[29] **RENDÓN, J.** Técnicas del control pasivo: Estado del arte en rehabilitación sísmica [Presentación de diapositivas].

[30] **FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY - FEMA.** *Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*. U.S.A.: El Autor, 1992.

[31] **PÉREZ, J., ENCISO, J y QUIUN, D.** Ensayos de Simulación Sísmica de Modelos de Albañilería Confinada. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. [En línea] 2009.



---

Disponible en web: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20091111-PEREZ-ENCISO-QUIUN-Ensayos%20alba%20conf.pdf>>.

**[32] SAN BARTOLOMÉ, A., SIANCAS, R y MANRIQUE, A.** Arriostramiento de Parapetos Existentes Hechos de Albañilería Simple. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. [En línea] 2013. Disponible en web: <[http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20130629-arriostramiento\\_de\\_parapetos\\_articulo.pdf](http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20130629-arriostramiento_de_parapetos_articulo.pdf)>.

**[33] SCHULLER, M y ATKINSON, R.** Injection grouting for repair of masonry: Research to practices. [En línea] 1995. Disponible en web: <<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784400944.ch30>>.

**[34] MANZOURI, T, y OTROS.** *Repair of Unreinforced Masonry Structures with Grout Injection Techniques*. s.l.: Marc E Bailly, Donald E Sporleder (Eds), 1996. Seventh North American Conference. págs. 472-483.

**[35] BINDA, L, y OTROS.** *Mechanical effects of bed joint steel reinforcement in historic brick masonry structures*. Londres: s.n., 2005, Structural Faults and Repairs.

**[36] KLINGER, R., FOX, G. y HARRIS, B.** Increasing the integrity of retrofitted URM walls using cementitious grout and spiral ties. *Reunión anual del Earthquake Engineering Research Institute*. Austin, Texas: s.n., 1997.

**[37] REVISTA CONSTRUDATA.** Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo. Bogotá, D.C.: Ediciones Legis, 2015.

**[38] CIMOC, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, COLCIENCIAS, LADRILLERA SANTAFÉ, SIKA.** Nuevos Sistemas para el diseño y construcción de muros divisorios y de fachada en edificaciones [Cartilla]. Bogotá, D.C.: s.n., 2013

**[39] MAPEI - CATALOGO GENERALE FEBBRAIO 2014.** [En línea] 2015. Disponible en web: <<http://www.mapei.com/public/IT/banner/multimedia/febbraio%202014.pdf>>

**[40] ZALAMEA, A, y OTROS.** *Fernando Martínez Sanabria*. Instituto de Distrital de Patrimonio Cultural yRevista.: Escala, 2008.

[41] TIQUE, J.A. YAMÍN L.E. Y REYES, J.C. , Comportamiento sísmico de muros de exterior estudiados en modelos a escala en la mesa vibratoria. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 2004

## **BLIOGRAFIA**

**ALCAINO, R.Pablo. y SANTA MARÍA, Hernán . Resistencia al corte de muros de albañilería reforzados exteriormente con fibras. Santiago de Chile: s.n., 2008. XXXIII Jornadas sudamericanas de Ingeniería Estructural.**

**ALCOCER, Sergio M y Otros. Rehabilitación de estructuras de mampostería. [aut. libro] Fundación ICA. Edificaciones de mampostería para vivienda. s.l.: , 1999, págs. 457-560.**

**ALFARO-Arias C, R. Van Hissenhoven y A. Alfaro (2001). Sistema de aislamiento sísmico para muros no estructurales. "XIV Jornadas Estructurales De La Ingeniería De Colombia". Sociedad Colombiana de Ingeniería Estructural. Asociación Colombiana de Ingeniería Estructural.**

**BINDA, L, y OTROS. Mechanical effects of bed joint steel reinforcement in historic brick masonry structures. Londres: s.n., 2005, Structural Faults and Repairs**

**BONETT Díaz, Ricardo León. Vulnerabilidad y riesgo sísmico de Edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza sísmica alta y moderada [Tesis Doctoral]. Barcelona.: Universidad Politécnica de Cataluña, 2003**

**BOSSIO, Silvia Nelida, Rehabilitar para mejorar la calidad de vida: Criterios y ejemplos de rehabilitación del patrimonio arquitectónico y urbano. Argentina: s.n., 2006. Congreso internacional de rehabilitación del patrimonio arquitectónico y urbano.**

---

**BUELVAS Moya Homer Mauricio, Estudio Del Comportamiento Mecánico De Los Muros De Mampostería Reforzados Externamente Con FRP Basado En Modelos Históricos, Estado Del Arte. [Tesis de grado]. Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander, 2012**

**CAMPBELL, J, y OTROS. A16-01 Ensayos de muros de albañilería armada dañados y Reparados sometidos a carga horizontal dinámica. Concepción: Universidad de Concepción, Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica, 2005. Congreso Chileno de Sismología de Ingeniería Antisísmica. IX Jornadas..**

**CARDONA, Omar Dario. y OTROS. Análisis de riesgo de desastres extremos en Colombia con fines de valoración de la exposición física. Informe del estudio sobre definición de la responsabilidad del Estado, su exposición ante desastres naturales y diseño de mecanismos para la cobertura de los riesgos residuales del Estado. Bogotá, D.C.: ACCI, DNP, Banco Mundial, 2005.**

**CASTILLEJO, A Andrés Felipe. Zonificación sísmica de Colombia. 2011. Disponible en web: <<http://sismoclub2011-1.wikispaces.com/Zonificaci%C3%B3n+S%C3%ADsmica+de+Colombia>>.**

**CHUANG, S., ZHUGE, Y y MCBEAN, P. Seismic retrofitting of unreinforced masonry walls by cable system. Vancouver, B.C., Canadá: s.n., 2004. 13th. Word Conference on Earthquake Engineering. Paper No. 3228.**

**COLOMBIA, CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 400 de 1997; por la cual se adoptan normas sobre construcciones sismo resistentes. Diario Oficial 43.113. Bogotá, D.C.: s.n., 25 de agosto de 1997.**

**COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Bogotá, D.C.: s.n., marzo de 2010.**

**CONCEJO DE BOGOTÁ. Acuerdo 20 de 1995; Modificado por el Decreto Distrital No. 74 de 2001, por el cual se adopta el Código de Construcción del Distrito Capital**

de Bogotá, se fijan sus políticas generales y su alcance, se establecen los mecanismos para su aplicación [...]. Registro Oficial 1044. Bogotá, D.C.: s.n., 20 de octubre de 1995.

CYPE Ingenieros S.A. Generador de Precios descompuestos para rehabilitación  
<http://www.colombia.generadordeprecios.info>

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY - FEMA. Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. U.S.A.: El Autor, 1992.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY - FEMA. Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage. U.S.A.: El Autor, 1994

KLINGER, R., FOX, G. y HARRIS, B. Increasing the integrity of retrofitted URM walls using cementitious grout and spiral ties. Reunión anual del Earthquake Engineering Research Institute. Austin, Texas: s.n., 1997.

MAYORCA, Paola, NAVARATNARAJ, Sathiparan., y MEGURO, Kimiro,. Report on the state-of-the-art in the seismic retrofitting of unreinforced masonry houses by PP-Band meshes. Tokyo: International Center for Urban Safety Engineering. Institute of Industrial Science. University of Tokyo, 2006.

MANZOURI, T, y OTROS. Repair of Unreinforced Masonry Structures with Grout Injection Techniques. s.l.: Marc E Bailly, Donald E Sporleder (Eds), 1996. Seventh North American Conference. págs. 472-483.

MOLANO, V. María Angélica. y SERRANO V. Andrea, Rehabilitación sísmica de mampostería no estructural reforzada con listones de madera [Tesis de grado]. Bogotá, D.C.: Pontificia Universidad Javeriana, 2005.

MONSALVE, Lozano Paola. Estudio análisis y diagnóstico de los elementos no estructurales [Tesis de grado]. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2003.

---

**MORANDI, Giulio.** La Facultad de Ingeniería de la "Università degli Studi di Napoli Federico II. Italia: s.n., 2013.

**MORALES Londono Marcela, Juan Diego Jaramillo Fernández, Gonzalo Hincapié Agudelo,** Grupo de Investigaciones en Ingeniería Civil (GICI), Universidad de Medellín - Udem -Medellín Antioquia, Artículo, Mampostería No Reforzada

**NÁPOLES Sayous, Nuria. Frómeta Salas, Zenaida. Ioa Quintana, Marta. (1995).** "Influencia de los elementos no estructurales en la vulnerabilidad sísmica".

**PAIKARA, Samemaresh y RAI, Durguesth.** Confining Masonry Using Pre-Cast Rc Element For Enhanced Earthquake Resistance. San Francisco, California: s.n., 2006. Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering. Paper No. 1177.

**PÉREZ José Francisco., ENCISO Jorge y QUIUN Daniel,** Ensayos de Simulación Sísmica de Modelos de Albañilería Confinada. Pontificia Universidad Católica del Perú. [En línea] 2009.

**QUINTERO Salazar, Juliana. (2004).** "Estudio experimental sobre alternativas de rehabilitación para muros de mampostería no estructural". Tesis de Magíster. Bogotá. Universidad de los Andes.

**QUIUN, Daniel. San Bartolome, Ángel. Zegarra, Luis. Giesecke, Alberto. (2006).** "Adobe reforzado con mallas de alambre: ensayos de simulación sísmica y aplicación a construcciones reales". Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú.

**RAMÍREZ DE ALBA, Horacio y CARREÓN, Bricia.** Experimental study on masonry walls strengthened with steel and plastic straps. Vancouver, B.C., Canadá: s.n., 2004. 13th world conference on earthquake engineering. Paper No. 1995.

**RENDÓN Ospina Jorge Alberto. Técnicas del control pasivo: Estado del arte en rehabilitación sísmica [Presentación de diapositivas].**

**REVISTA CONSTRUDATA Edición 174 vigente para los meses de marzo a mayo del año 2015- Ediciones Legis, Bogotá D.C. Colombia.**

**REVISTA PROA, compendio de las publicaciones del año 1963, Editorial Proa , Bogotá Colombia**

**RINCÓN Cabezas Jenny Cristina, Estudio del diseño, construcción y aplicación de los elementos no estructurales, muros divisorios y de fachada en mampostería de arcilla, frente al fenómeno sísmico [Tesis de grado]. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2012.**

**ROJAS Mora Daniel. Estudio nuevos sistemas y materiales para el diseño y construcción de muros divisorios y de fachadas en edificaciones. Bogotá, D.C.: Colciencias, Uniandes, Ladrillera Santafé, Sika, 1992.**

**ROJAS Mora Daniel y otros. Mejoramiento y adecuación de fachadas en mampostería y elementos no estructurales con anterioridad al Reglamento Colombiano NSR 10. Universidad Nacional de Colombia 2014.**

**SAN BARTOLOMÉ, Ángel, ARATA, Aldo y DÍAZ Victor, Investigación, arriostramiento de tabiques de albañilería existentes en fachadas de edificios con voladizos. Universidad Católica del Perú. [En línea] 2007..**

**SAN BARTOLOMÉ, Ángel., BARR, Krishan y PINEDA, Cesar. Control de la trituración de los ladrillos huecos mediante malla Electro soldada en muros de albañilería confinada. Pontificia Universidad católica del Perú. [En línea] 2011.**

**SAN BARTOLOMÉ, Ángel y CASTRO, A. Investigación Reparación de un muro de albañilería confinada. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2007.**

---

**SAN BARTOLOMÉ, Ángel y CORONEL, Cristian.** Reforzamiento de un muro de albañilería confinada mediante fibra de carbono. Pontificia Universidad Católica del Perú. [En línea] 2011.

**SAN BARTOLOMÉ, Ángel., SIANCAS, R y MANRIQUE, A.** Arriostramiento de Parapetos Existentes Hechos de Albañilería Simple. Pontificia Universidad Católica del Perú. [En línea] 2013..

**SCHULLER, M y ATKINSON, R.** Injection grouting for repair of masonry: Research to practices. [En línea] 1995.

**SERRANO Torres, Mauricio,** Reforzamiento de estructuras de mampostería con láminas de tereftalato de polietileno [Tesis de grado]. Bogotá, D.C.: Universidad de los Andes, 2004.

**TIQUE J.A., YAMÍN L.E. Y REYES.J.C.,**Comportamiento sísmico de muros de mampostería con refuerzo exterior estudiados en modelos a escala en la mesa vibratoria. Universidad de los Andes, 2004

**TORREALVA, Dávila Daniel,** Refuerzo de muros y tabiques de albañilería con mallas de polímero. Pontificia Universidad Católica del Perú. [En línea] 2007.

**TUMIALAN, Gustavo., NANNI, Antonio. y SAN BARTOLOMÉ, Angel,** Comportamiento sísmico de tabiques reforzados con varillas de fibra de vidrio. Pontificia Universidad Católica del Perú. [En línea] 2002.

**VARGAS, C.** Nueva falla geológica altera mapa de amenaza sísmica en Colombia. Artículo: Nueva falla geológica altera mapa de amenaza sísmica en Colombia UN Entrevista al Ing. Ómar Darío Cardona, Periódico Impreso No. 144, de fecha 7 de mayo de 2011

**YAMÍN Luis E., Camilo A. Phillips, Juan C. Reyes, Álvaro López, Mauricio Fajardo, Daniel Rojas, Germán Hermida (2004).** "Nuevos sistemas y materiales para el diseño y construcción de muros divisorios y de fachadas en edificaciones". Centro

**de Investigación en Materiales y Obras Civiles (CIMOC). Universidad de Los Andes, Colciencias, Ladrillera Santafé y Sika. Bogotá, Colombia.2003**

**YAMIN, L.E y OTROS. Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre: el caso de Bogotá, Colombia: Bogotá, D.C.: Banco Mundial, Universidad de los Andes, 2013.**

**ZALAMEA Alberto, MONTENEGRO Fernando y VELÁZQUEZ Rodolfo - Fernando Matiné Sanabria- Editorial ESCALA 2008.**

**ZALAMEA León Esteban Felipe Mampostería Post-Tensada: Una alternativa constructiva para Ecuador [Tesis MSc En Construcciones]. Cuenca.: Universidad De Cuenca, Ecuador 2012**

**ZEGARRA Luis, Daniel Quiun, Angel San Bartolomé, Alberto Giesecke, Reforzamiento de viviendas de adobe existentes. 1ra. Parte: Ensayos sísmicos de muros U” y “Reforzamiento de viviendas de adobe existentes. 2da. Parte: Ensayos sísmicos de módulos” Ponencias, XI Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Trujillo 1997**