

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**REFORZAMIENTO DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO  
ARTESANAL**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**LIVINGSTON GUSTAVO ANGULO ARELLANO (tavotavo46@hotmail.com)  
CARLOS ENRIQUE LÓPEZ SORIA (krlesmh\_11@hotmail.com)**

**DIRECTOR: Ing. Msc. Patricio Placencia (patohpla@hotmail.com)**

**Quito, Octubre 2008**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Livingston Gustavo Angulo Arellano, Carlos Enrique López Soria, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

**LIVINGSTON GUSTAVO  
ANGULO.**

---

**CARLOS ENRIQUE  
LÓPEZ**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Livingston Gustavo Angulo Arellano, y Carlos Enrique López Soria, bajo mi supervisión.

---

**Ing. Patricio Placencia**  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

## AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios, por darme fuerzas para continuar cada día y poner a las personas indicadas en mi camino para la terminación de esta tesis, algunas de ellas y perdón por no mencionarlas a todas, son:

A todo el personal del Centro de Investigación de la Vivienda, en especial a Roberto, por su constante apoyo y sus consejos durante la realización de la presente tesis.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, por su ayuda desinteresada y eficaz, por medio del Departamento de Soldadura, para ellos nuestro más grande agradecimiento.

Gracias por la ayuda durante la construcción de la mampostería, gracias Santiago por darnos una mano en este proceso.

Un especial agradecimiento merece el Ing. Félix Vaca, quién nos apoyó y guió durante todo el proceso investigativo, despejó nuestras dudas y planteó algunas más. Sin su ayuda hubiese sido muy difícil terminar nuestro proyecto.

La ruta de esta investigación, aunque por momentos fue incierta debido a algunas piedras que encontramos en el camino, gracias a un trabajo conjunto con nuestro profesor guía, el Ing. Patricio Placencia, quién en breves conversaciones sabía despejar nuestras dudas, con él siempre estaremos agradecidos.

Gustavo.

## DEDICATORIA

Esta investigación se la dedico principalmente a mis padres, Julio y Teresa, quienes siempre me apoyaron durante todos mis estudios, sus consejos y palabras de aliento siempre estarán presentes en mí.

A mis dos hermanos, Harold y Tatiana, por todo lo que de ustedes he aprendido, por su paciencia y confianza en mí, por su ejemplo de lucha constante y superación.

A mis compañeros y amigos, Carlos, Santiago, Jaguar, Samir, Jorge, Juan. De una manera especial a mis queridas amigas Carla, Dany y Paty quienes siempre confiaron en mí y nunca han dudado en darme una mano, por todos los buenos momentos que vivimos juntos en la escuela.

Para todas aquellas personas que en algún momento formaron parte de mi vida y ya no están, que me brindaron su cariño y amistad, por lo que aprendí junto a ellas, por mostrarme quién realmente soy y darme fuerzas para siempre intentar ser alguien mejor. Su recuerdo siempre dibujará una sonrisa en mi rostro.

Gustavo.

## AGRADECIMIENTO

Mis profundos agradecimientos y reconocimientos para las personas quienes apoyaron e incentivaron la realización de esta tesis de grado, que ha sido fuente de inspiración en el desarrollo de mi vida, pues deja plasmado en mi ser una experiencia inolvidable de amistad y conocimiento.

Me alegra saber que gracias a la ayuda de Dios se ha podido concluir una etapa más y que con su presencia infinita continuaré mi camino hacia los designios que me sean dados.

De manera especial quiero resaltar el aliento dado por mi familia: mis Padres Luis y Sonia; mis hermanos Luis, Rommel y Gaby; mi sobrino Daniel; mi cuñada Doris y por quienes son parte de una nueva familia Albita, y mis hijos Mateo Misael y Thomas Alejandro, quienes con su alegría y entendimiento y, sobretodo con su amor, han contribuido para la realización de este sueño.

Cómo dejar de lado a los amigos que son los compañeros de todos los días a Gustavo, Juan Carlos, Alex, Juan Carlos, Samir, Jorge, Elizabeth, Verónica, Vinicio, José Luis, Freddy, Patricio y Cristian, quienes con su ayuda, ánimos y consejos me levantaron muchas veces de los tropiezos que tuve. Y cómo olvidar a los amigos hermanos: Santiago, Daniel, Jorge, Evhelyn, Ana, Miriam y Tammy, quienes más de una vez supieron reprenderme y reavivar mi espíritu para continuar en el cumplimiento de las quimeras.

Finalmente me resta agradecer la presencia del Ing. Patricio Placencia, quien encaminó y dirigió este proceso; Roberto, quien colaboró incondicionalmente, y todas las personas quienes de alguna manera formaron parte y contribuyeron para la culminación del mismo. No me queda más que decirles que, sin ustedes no hubiera sido posible llevar a cabo el desarrollo de este trabajo de tan exitosa manera. MUCHAS GRACIAS

Carlos.

## DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño.

A Dios, quien me dió el privilegio de vivir y disfrutar de la compañía de una familia maravillosa y quien con su palabra ha guiado mi camino a lo largo de este tiempo.

A mis padres, que con infinito amor y sabiduría han sabido orientar mi vida por el sendero de la justicia ya que sin su apoyo y sacrificio no estaría aquí en este momento.

A mis hermanos, que supieron entenderme y aconsejarme en los momentos más difíciles y forjaron en mi ser un profundo sentimiento de respeto y valentía para enfrentar los retos que a diario se cruzan en nuestras vidas.

A la madre de mis hijos, por ser mi fuerza y templanza, y a mis entrañables hijos, en reciprocidad a las alegrías que me han dado.

A mis amigos, que día a día vivieron mis alegrías y tristezas, mis logros y caídas sabiendo respaldar las buenas decisiones y contrariar las malas acciones.

Carlos.

## CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN AL SISTEMA. ....	1
1.1.1 DEFINICIÓN.....	1
1.1.2 HISTORIA DE LA MAMPOSTERÍA.....	1
1.1.3 CLASIFICACIÓN DE LA MAPOSTERÍA ESTRUCTURAL.....	4
1.2. ANTECEDENTES. ....	5
1.3 ALCANCE Y OBJETIVOS.....	7
1.3.1 ALCANCE.....	7
1.3.2 OBJETIVOS.....	7
1.4 ANÁLISIS DE EXPERIENCIAS PREVIAS.....	8
1.5 METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO. ....	10
1.5.1 Ensayos a Carga Horizontal y Vertical. ....	15
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>19</b>
<b>EQUIPOS Y MATERIALES</b> .....	<b>19</b>
2.1 INSTRUMENTOS.....	19
2.2 EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN Y REFORZAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA.....	24
2.2.1 EQUIPOS.....	24
2.2.2 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	27
2.2.2.1 Hormigón de vigas para el ensayo de laboratorio.....	27
2.2.2.2 Acero de refuerzo en vigas.....	27
2.2.2.3 Tensores de Acero para evitar el volcamiento.....	28
2.2.2.4 Malla Electrosoldada.....	28
2.3 LADRILLOS. ....	28
2.3.1 TIPOS DE LADRILLOS.....	29
2.4 MORTERO.....	31
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>35</b>
<b>DISEÑO DEL EXPERIMETO</b> .....	<b>35</b>
3.1 ELEMENTOS.....	35
3.1.1. ENSAYOS SOBRE LOS MAMPUESTOS.....	35
3.1.1.1 Definiciones, clasificación y condiciones generales.....	35
3.1.1.2 Variaciones Dimensionales.....	36
3.1.1.3 Resistencia a la compresión.....	37



3.1.1.4 Requisitos.....	38
3.1.2 <i>ENSAYOS SOBRE EL HORMIGÓN Y MORTERO.</i> .....	39
3.1.2.1 Ensayo de compresión del hormigón (determinación del $f'c$ ).....	39
3.1.2.2 Ensayo de compresión del Mortero de Pega.....	41
3.1.2.3 Ensayo de compresión del Mortero de Enchape.....	43
3.2 CARGAS. ....	44
3.3 PROCEDIMIENTO DE RECOPIACIÓN DE DATOS.....	46
3.3.1 <i>CARGA LATERAL APLICADA.</i> .....	46
3.3.2 <i>CARGA VERTICAL.</i> .....	48
3.3.3 <i>DEFORMACIÓN LATERAL.</i> .....	50
3.3.4 <i>DEFORMACIÓN EN LOS TENSORES ANTIVOLCAMIENTO.</i> .....	52
3.4 RESULTADOS. ....	53
3.4.1 <i>RESULTADOS DE VARIACIÓN DIMENSIONAL.</i> .....	53
3.4.2 <i>RESULTADOS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.</i> .....	55
3.4.3 <i>RESULTADOS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO DE PEGA.</i> .....	57
3.4.4 <i>RESULTADOS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO DE ENCHAPE.</i> .....	57
3.5 ANÁLISIS TEÓRICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA. ....	58
3.5.1 <i>DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA (<math>f'm</math>.)...</i>	59
3.5.2 <i>DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (<math>E_m</math>), EL MÓDULO DE CORTE (<math>G_m</math>) Y DE LA RIGIDEZ A CORTANTE (<math>K_m</math>) DE LA MAMPOSTERÍA.....</i>	60
3.5.3 <i>DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (<math>E_r</math>) Y EL MÓDULO DE CORTE (<math>G_r</math>) Y DE LA RIGIDEZ A CORTANTE (<math>K_r</math>) DEL MORTERO DE PEGA. ....</i>	61
3.5.4 <i>DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A CORTE DE LA MAMPOSTERÍA (<math>V_m</math>).</i> .....	62
3.5.5 <i>DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A CORTE DEL ENCHAPE DE REFUERZO (<math>V_n</math>).</i> .	64
3.6 COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA NO REFORZADA.....	67
3.6.1 <i>COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA SOMETIDA A ESFUERZOS CORTANTES. ....</i>	67
3.6.1.1 Falla a fricción-cortante:.....	68
3.6.1.2 Falla por tensión diagonal: .....	69
3.6.1.3 Falla a compresión: .....	69
3.6.2. <i>COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA SOMETIDA A ESFUERZOS DE TRACCIÓN.</i> 70	
3.6.3 <i>COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA SOMETIDA A ESFUERZOS DE FLEXO-COMPRESIÓN Y DE CORTANTE.</i> .....	71
3.6.3.1 Falla por cortante:.....	72
3.6.3.2 Falla por flexión: .....	73
<b>CAPÍTULO IV. ....</b>	<b>75</b>
<b>CONSTRUCCIÓN DE PAREDES. ....</b>	<b>75</b>
4.1 CONSTRUCCIÓN DE MAMPOSTERÍA.....	75
4.2 REHABILITACIÓN Y REFORZAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA. ....	85

<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>90</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO DE MAMPOSTERÍA A CARGA VERTICAL Y HORIZONTAL... 90</b>	
5.1. REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE MAMPOSTERÍA SIN MALLA DE REFUERZO.....	90
5.1.1. PREPARACIÓN DE EQUIPOS PARA LOS ENSAYOS.....	90
5.1.2 ENSAYO SOBRE LA PARED DE MAMPOSTERÍA SIN REFORZAMIENTO.....	93
5.2 REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE MAMPOSTERÍA AGRIETADA REFORZADA.....	99
5.3 REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	109
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>120</b>
<b>RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE MAMPOSTERÍA A CARGA VERTICAL Y HORIZONTAL.....</b>	<b>120</b>
6.1 OBJETIVOS DEL ENSAYO CÍCLICO.....	120
6.2. ENSAYO SOBRE LA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO SIN MALLA DE REFUERZO.....	122
6.2.1. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS.....	122
6.2.2. EXPLORACIÓN DE LA MAMPOSTERÍA LUEGO DEL ENSAYO.....	126
6.3. ENSAYO SOBRE LA MAMPOSTERÍA AGRIETADA REFORZADA.....	129
6.3.1. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS.....	129
6.3.2. EXPLORACIÓN DE LA MAMPOSTERÍA LUEGO DEL ENSAYO.....	133
6.4. ENSAYO SOBRE LA MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	135
6.4.1. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS.....	135
6.4.2. EXPLORACIÓN DE LA MAMPOSTERÍA LUEGO DEL ENSAYO.....	140
6.5. COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PAREDES DE MAMPOSTERÍA EN LOS TRES ESTADOS INVESTIGADOS.....	142
6.6 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO.....	150
<b>CAPÍTULO VII.....</b>	<b>154</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>154</b>
7.1 CONCLUSIONES.....	154
7.2 RECOMENDACIONES.....	160
<b>CAPÍTULO VIII.....</b>	<b>164</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>164</b>

## TABLA DE FIGURAS

FIGURA 1.1: DIMENSIONES DE APOYO ANTIDESLIZANTE.....	11
FIGURA 1.2: APOYOS ANTIDESLIZANTES PARA 2 EJES.....	11
FIGURA 1.3: TRABA TIPO INGLÉS PARA PARED DE LADRILLO. ....	12
FIGURA 1.4: PARED CON TRABAS PARA VIGA DE CORONACIÓN.....	13
FIGURA 1.5: ARMADO DE VIGA DE CORONACIÓN.....	14
FIGURA 1.6: PARED TERMINADA.....	15
FIGURA 1.7: PARED NO ARMADA, NO CONFINADA AGRIETADA DEBIDO AL ENSAYO PREVIO REALIZADO, SE APRECIA LA MALLA ELECTROSOLDADA COLOCADA PARA SU REFORZAMIENTO. ....	16
FIGURA 1.8: PARED REFORZADA CON ENCHAPE.....	17
FIGURA 3.1: UBICACIÓN DE LVDT'S PARA PARED NO ARMADA NO CONFINADA.....	51
FIGURA 3.2: UBICACIÓN DE LVDT'S PARA MAMPOSTERÍA AGRIETADA REFORZADA Y REFORZADA NUEVA. ....	51
FIGURA 3.3: FALLA POR FRICCIÓN-CORTANTE EN MUROS DE MAMPOSTERÍA .....	68
FIGURA 3.4: FALLA POR TENSIÓN DIAGONAL EN MUROS DE MAMPOSTERÍA .....	69
FIGURA 3.5: FALLA POR COMPRESIÓN EN MUROS DE MAMPOSTERÍA.....	70
FIGURA 3.6: FALLAS DE LA MAMPOSTERÍA POR TENSIÓN. ....	71
FIGURA 3.7: FALLAS DE LA MAMPOSTERÍA POR CORTANTE. ....	73
FIGURA 3.8: FALLAS DE MAMPOSTERÍA POR FLEXIÓN.....	74
FIGURA4.1:DISPOSICIÓN DE LOS VÍNCULOS DE UNIÓN DE LA MALLAS ELECTROSOLDADAS, EN LA MAMPOSTERÍA.....	87
FIGURA 6.1: DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE FLUENCIA DE LA MAMPOSTERÍA.....	121

## TABLA DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 2.1: GATO HIDRÁULICO DE CARGA CÍCLICA CON CAPACIDAD DE 20 T.....	20
FOTOGRAFÍA 2.2: BOMBA ELÉCTRICA ENERPAC CON CAPACIDAD DE 100 TONELADAS.....	21
FOTOGRAFÍA 2.3: CELDA DE CARGA CON SU RESPECTIVO ACOPLÉ.....	21
FOTOGRAFÍA 2.4: RÓTULA.....	22
FOTOGRAFÍA 2.5: DISPOSITIVO DE TRANSMISIÓN DE CARGA ARMADO COMPLETAMENTE .....	22
FOTOGRAFÍA 2.6: CELDA DE CARGA CONSTRUIDA POR EL PERSONAL DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA VIVIENDA DE LA EPN .....	23
FOTOGRAFÍA 2.7: LVDTs .....	23
FOTOGRAFÍA 2.8: STRAIN GAGES INSTALADO EN LA VARILLA TENSOR.....	23
FOTOGRAFÍA 2.9: APOYOS ANTIDESLIZANTES TIPO TEE DE ACERO.....	24
FOTOGRAFÍA 2.10: CONCRETERA PARA MEZCLAR EL HORMIGÓN.....	25
FOTOGRAFÍA 2.11: MOLDES PARA CILINDROS DE HORMIGÓN.....	25
FOTOGRAFÍA 2.12: BALANZA DE PRECISIÓN, PARA PESAR TODAS LAS MUESTRAS.....	26
FOTOGRAFÍA 2.13: MÁQUINA PARA REALIZAR LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN DE LAS MUESTRAS (PRISMAS Y CILINDROS).....	26
FOTOGRAFÍA 2.14: MOLDES METÁLICOS PARA TOMAR LAS MUESTRAS DE MORTERO.....	27
FOTOGRAFÍA 3.1: MUESTRA DE LADRILLOS PARA LA REALIZACIÓN DE LOS DIFERENTES ENSAYOS.....	36
FOTOGRAFÍA 3.2: TOMA DE DIMENSIONES DE LOS MAMPUESTOS.....	37
FOTOGRAFÍA 3.3: MEDICIÓN DEL PESO DE LOS MAMPUESTOS CON UNA BALANZA ELECTRÓNICA.....	38
FOTOGRAFÍA 3.4: CILINDRO STANDARD PARA REALIZAR EL ENSAYO SOBRE EL HORMIGÓN DE LAS VIGAS SUPERIORES.....	40
FOTOGRAFÍA 3.5: ENSAYO DE COMPRESIÓN DE HORMIGÓN A LOS 28 DÍAS.....	40
FOTOGRAFÍA 3.6: CUBOS DE MORTERO DE PEGA STANDARD PARA LA PRUEBA DE COMPRESIÓN.....	41
FOTOGRAFÍA 3.7: MEDICIÓN DEL PESO DE LOS CUBOS STANDARD DE MORTERO DE PEGA CON AYUDA DE UNA BALANZA ELECTRÓNICA.....	42
FOTOGRAFÍA 3.8: ENSAYO DE COMPRESIÓN DEL MORTERO DE PEGA A LOS 28 DÍAS.....	42
FOTOGRAFÍA 3.9: CUBOS STANDARD DE MORTERO DE ENCHAPE PARA LA PRUEBA DE COMPRESIÓN.....	43
FOTOGRAFÍA 3.10: ENSAYO DE COMPRESIÓN DEL MORTERO DE ENCHAPE LOS 28 DÍAS.....	43
FOTOGRAFÍA 3.11: PLACA DE EMPOTRAMIENTO DEL GATO HIDRÁULICO .....	47
FOTOGRAFÍA 3.12: PLACA DE ACERO CON 4 ORIFICIOS COLOCADA EN LA VIGA DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO, SE APRECIA TAMBIÉN LAS 4 VARILLAS ROSCADAS QUE SOBRESALEN DE LA VIGA.....	47
FOTOGRAFÍA 3.13: DISPOSITIVO DE APLICACIÓN DE CARGA LATERAL (VISTA LATERAL).....	48
FOTOGRAFÍA 3.14: PLACA DESLIZANTE UBICADA SOBRE LA VIGA, TRANSMITE LA CARGA VERTICAL.....	49
FOTOGRAFÍA 3.15: DISPOSITIVO DE APLICACIÓN DE CARGA VERTICAL CON SUS ELEMENTOS.....	49

FOTOGRAFÍA 3.16: DISPOSITIVO DE APLICACIÓN DE CARGA VERTICAL, (GATO HIDRÁULICO, CELDA DE CARGA Y PLACA DESLIZANTE) .....	50
FOTOGRAFÍA 3.17: UPM .....	52
FOTOGRAFÍA 4.1: UBICACIÓN DE LOS APOYOS ANTIDESLIZANTES EN LA LOSA DE REACCIÓN.....	76
FOTOGRAFÍA 4.2: DISPOSICIÓN DE LOS LADRILLOS EN LA PRIMERA HILADA DE LA PARED. ....	76
FOTOGRAFÍA 4.3: DISPOSICIÓN DE LADRILLOS EN LA SEGUNDA HILADA DE LA PARED. ....	77
FOTOGRAFÍA 4.4: DISPOSICIÓN DE LADRILLOS EN LA TERCERA HILADA DE LA PARED.....	77
FOTOGRAFÍA 4.5: VISTA LATERAL DE UNA HILADA CONCLUIDA.....	78
FOTOGRAFÍA 4.6: PROBETAS DE MORTERO DE PEGA.....	79
FOTOGRAFÍA 4.7: PAREDES DE MAMPOSTERÍA PREVIO A LA FUNDICIÓN DE LA VIGA SUPERIOR.....	79
FOTOGRAFÍA 4.8: REFUERZO EN LOS DIENTES DE LA VIGA SUPERIOR $\phi= 14$ MM.....	80
FOTOGRAFÍA 4.9: DETALLE DEL ARMADO DE LA VIGA SUPERIOR.....	80
FOTOGRAFÍA 4.10: DETALLE DEL ENCOFRADO DE LA VIGA SUPERIOR. ....	81
FOTOGRAFÍA 4.11: CONSTRUCCIÓN DE PANELES DE MADERA PARA EL ENCOFRADO DE LA VIGA.....	81
FOTOGRAFÍA 4.12: PANELES DE MADERA DEL ENCOFRADO COLOCADO Y ALINEADO PARA LA TRANSMISIÓN DE CARGA. ....	82
FOTOGRAFÍA 4.13: VISTA LATERAL DE LAS VARILLAS TRANSMISORAS DE CARGA. ....	82
FOTOGRAFÍA 4.14: VIGA LISTA PARA LA FUNDICIÓN .....	83
FOTOGRAFÍA 4.15: VIGAS TERMINADAS.....	83
FOTOGRAFÍA 4.16: CILINDRO ESTÁNDAR PARA EL ENSAYO DE HORMIGÓN (DETERMINACIÓN DEL F´C). ....	84
FOTOGRAFÍA 4.17: PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL F´C. A LOS 28 DÍAS DE TOMA DE LA MUESTRA. ....	84
FOTOGRAFÍA 4.18: MAMPOSTERÍA TERMINADA. ....	85
FOTOGRAFÍA 4.19: CONDICIÓN DE LA MAMPOSTERÍA ENSAYADA AGRIETADA PREVIA A REALIZAR SU REHABILITACIÓN Y REFORZAMIENTO.....	86
FOTOGRAFÍA 4.20: AMARRE DEL ALAMBRE COMO CONECTOR DE UNIÓN ENTRE LAS MALLAS A CADA CARA DE LA PARED.....	88
FOTOGRAFÍA 4.21: SEPARACIÓN DE LA MALLA ELECTROSOLDADA DE LA PARED 1 CM. ....	88
FOTOGRAFÍA 4.22: PAREDES DURANTE EL PROCESO DE COLOCACIÓN DEL ENCHAPE DE REFORZAMIENTO. ....	89
FOTOGRAFÍA 4.23: PROBETAS DE MORTERO DE ENCHAPE. ....	89
FOTOGRAFÍA 5.1: EMPOTRAMIENTO DE TENSORES EN LA LOSA DE REACCIÓN DEL LABORATORIO.....	90
FOTOGRAFÍA 5.2: DISPOSITIVO DE APLICACIÓN DE CARGA LATERAL CON SUS ELEMENTOS.....	91
FOTOGRAFÍA 5.3: DISPOSITIVO DE APLICACIÓN DE CARGA VERTICAL, (GATO HIDRÁULICO, CELDA DE CARGA Y PLACA DESLIZANTE).....	92
FOTOGRAFÍA 5.4: PARED LISTA PARA EL ENSAYO, UBICACIÓN DE TENSORES EN LOS EXTREMOS. ....	93
FOTOGRAFÍA 5.5: FISURAS EN LA PARED A LAS 6 T DE CARGA NEGATIVA .....	95
FOTOGRAFÍA 5.6: ANCHO FISURA EN LA PARED A LAS 10 T. DE CARGA NEGATIVA. ....	96
FOTOGRAFÍA 5.7: ANCHO FISURA EN LA PARED A LAS 14 T. DE CARGA NEGATIVA. ....	96
FOTOGRAFÍA 5.8: ANCHO FISURA EN LA PARED A LAS 18 T. DE CARGA POSITIVA.....	97

FOTOGRAFÍA 5.9: ANCHO FISURA EN LA PARED A LAS 20 T. DE CARGA POSITIVA.....	97
FOTOGRAFÍA 5.10: PARED AGOTADA, FIN DEL ENSAYO.....	98
FOTOGRAFÍA 5.11: FISURAS EN LA PARED A LAS 14.8 T. DE CARGA NEGATIVA.....	102
FOTOGRAFÍA 5.12: EFECTO DE VOLCAMIENTO (LEVANTAMIENTO DE LA PARED).....	103
FOTOGRAFÍA 5.13: EFECTO DE VOLCAMIENTO (LEVANTAMIENTO DE LA PARED).....	104
FOTOGRAFÍA 5.14: EFECTO DE VOLCAMIENTO (LEVANTAMIENTO DE LA PARED).....	105
FOTOGRAFÍA 5.15: FISURAS EN LA PARED A LAS 30 T DE CARGA POSITIVA.....	106
FOTOGRAFÍA 5.16: FISURAS EN EL INTERIOR DE LA PARED LAS 30 T DE CARGA POSITIVA.....	106
FOTOGRAFÍA 5.17: DESPRENDIMIENTO DE LA CAPA DE ENCHAPE A LAS 30 T DE CARGA POSITIVA.....	107
FOTOGRAFÍA 5.18: FISURAS EN LA PARED A LAS 33 T DE CARGA. FINALIZACIÓN DEL ENSAYO.....	108
FOTOGRAFÍA 5.19: DESPRENDIMIENTO DE LADRILLOS. TERMINADO EL ENSAYO.....	108
FOTOGRAFÍA 5.20: DISPOSITIVO PARA APLICAR TENSIÓN EN LAS VARILLAS DE ACERO CONSTA DE 18 PLACAS UBICADAS SOBRE LA VIGA SUPERIOR.....	109
FOTOGRAFÍA 5.21: DISPOSITIVO PARA APLICAR TENSIÓN EN LAS VARILLAS (MESAS DE ACERO) UBICADAS BAJO LA LOSA DE REACCIÓN DEL LABORATORIO.....	110
FOTOGRAFÍA 5.22: FISURA HORIZONTAL EN LA BASE DE LA PARED A 18 T DE CARGA NEGATIVA.....	112
FOTOGRAFÍA 5.23: UBICACIÓN FINAL DE LOS TENSORES, ENSAYO UNIDIRECCIONAL (APLICACIÓN DE LA CARGA LATERAL EN UN SOLO SENTIDO).....	113
FOTOGRAFÍA 5.24: FISURAS EN LA PARED A LAS 40 T DE CARGA POSITIVA.....	114
FOTOGRAFÍA 5.25: FISURAS EN LA PARED A LAS 45 T DE CARGA POSITIVA.....	115
FOTOGRAFÍA 5.26: FISURAS EN LA PARED A LAS 51 T DE CARGA POSITIVA.....	116
FOTOGRAFÍA 5.27: LEVANTAMIENTO A CAUSA DEL VOLCAMIENTO A 51 T DE CARGA LATERAL.....	117
FOTOGRAFÍA 5.28: AGRIETAMIENTO FINAL DE LA MAMPOSTERÍA.....	118
FOTOGRAFÍA 5.29: DESPRENDIMIENTO DEL ENCHAPE DE REFUERZO Y GRIETA CENTRAL EN LOS LADRILLOS HASTA 36 CM DE ALTURA.....	118
FOTOGRAFÍA 5.30: DESPRENDIMIENTO DE LADRILLOS. TERMINADO EL ENSAYO.....	119
FOTOGRAFÍA 6.1: PARED AGOTADA, FINAL DEL ENSAYO.....	123
FOTOGRAFÍA 6.2: GRIETA EN ESQUINA SUPERIOR IZQUIERDA DE LA PARED AGOTADA.....	127
FOTOGRAFÍA 6.3: GRIETA EN PARTE CENTRAL DE LA PARED AGOTADA.....	127
FOTOGRAFÍA 6.4: GRIETA EN ESQUINA INFERIOR DERECHA DE LA PARED AGOTADA.....	128
FOTOGRAFÍA 6.5: PARED AGOTADA, FIN DEL ENSAYO.....	130
FOTOGRAFÍA 6.6: PROCEDIMIENTO DE RETIRADO DEL ENCHAPE PARA VERIFICACIÓN DE GRIETAS.....	134
FOTOGRAFÍA 6.7: MAMPOSTERÍA DESCUBIERTA, NO PRESENTA AGRIETAMIENTO EN LAS UNIDADES CERCANAS A LA GRIETA DE FALLA.....	135
FOTOGRAFÍA 6.8: PARED AGOTADA, FIN DEL ENSAYO.....	137
SENTIDOS, RESULTADO DE LA EXPERIMENTACIÓN.....	139
FOTOGRAFÍA 6.9: MUESTRA DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA COMPLETAMENTE FRAGMENTADAS EN LA ZONA DE AGRIETAMIENTO.....	141
FOTOGRAFÍA 6.10: ALAMBRE GALVANIZADO EN SU POSICIÓN ORIGINAL AÚN DESPUÉS DE HABER CONCLUIDO EL ENSAYO.....	141

FOTOGRAFÍA 6.11: MALLA ELECTROSOLDADA DEFORMADA POR PANDEO DURANTE LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO, VÍNCULO AÚN AMARRADO A LA MALLA DE REFUERZO..... 142

## TABLA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 5.1: CICLOS DE APLICACIÓN DE CARGA LATERAL .....	94
GRÁFICO 5.2: CICLOS DE APLICACIÓN DE CARGA LATERAL .....	101
GRÁFICO 5.3: CICLOS DE APLICACIÓN DE CARGA LATERAL .....	111
GRÁFICO 6.1: DIAGRAMA HISTERÉTICO (DEFORMACIÓN EN VIGA SUPERIOR) .....	124
GRÁFICO 6.2: CURVA ENVOLVENTE PROMEDIO DE CARGA LATERAL VS. DEFORMACIÓN ALCANZADOS EN AMBOS SENTIDOS, RESULTADO DE LA EXPERIMENTACIÓN. ....	125
GRÁFICO 6.3: CURVA CORTANTE VS. CARGA AXIAL, LÍNEA DE TENDENCIA Y FÓRMULA .....	126
GRÁFICO 6.4: DIAGRAMA HISTERÉTICO (DEFORMACIÓN EN VIGA SUPERIOR) .....	131
GRÁFICO 6.5: CURVA ENVOLVENTE PROMEDIO DE CARGA Y DEFORMACIÓN ALCANZADOS EN AMBOS SENTIDOS, RESULTADO DE LA EXPERIMENTACIÓN. ....	132
GRÁFICO 6.6: CURVA CORTANTE VS. CARGA AXIAL, LÍNEA DE TENDENCIA Y FÓRMULA .....	133
GRÁFICO 6.7: DIAGRAMA HISTERÉTICO (DEFORMACIÓN EN VIGA SUPERIOR) .....	138
GRÁFICO 6.8: CURVA ENVOLVENTE PROMEDIO DE CARGA Y DEFORMACIÓN ALCANZADOS EN AMBOS SENTIDOS, RESULTADO DE LA EXPERIMENTACIÓN. ....	139
GRÁFICO 6.9: CURVA CORTANTE VS. CARGA AXIAL, LÍNEA DE TENDENCIA Y FÓRMULA .....	140
GRÁFICO 6.10: COMPARACIÓN DE ENVOLVENTES DE LOS TRES ESTADOS DE LA MAMPOSTERÍA EN ANÁLISIS. ....	145
GRÁFICO 6.11: CARGA VERTICAL MÍNIMA PARA OBTENER LA MÁXIMA RESISTENCIA A CORTANTE EN LA MAMPOSTERÍA SIN REFORZAMIENTO.....	146
GRÁFICO 6.12: CURVAS CARGA LATERAL VS. CARGA AXIAL VERTICAL DE LOS TRES ESTADOS DE LA MAMPOSTERÍA EN ANÁLISIS. ....	147
GRÁFICA 6.13: TENDENCIA SIMILAR DE LAS CURVAS CARGA AXIAL VS. DEFORMACIÓN LATERAL.....	148



## ÍNDICES DE TABLAS

TABLA 2.1: TIPO DE MORTEROS, DOSIFICACIÓN Y RESISTENCIA MÍNIMA A COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS....	344
TABLA 3.1: HOJA DE RECOPIACIÓN DE DATOS, PRESENTADA EN LA COMPUTADORA DURANTE LA OBTENCIÓN DE DATOS.....	52
TABLA 3.2: VARIACIÓN DIMENSIONAL. ....	54
TABLA 3.3: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ....	56
TABLA 3.4: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO DE PEGA.....	577
TABLA 3.5: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO DE ENCHAPE. ....	58
TABLA 6.1: COMPARACIÓN DE RIGIDEZ, EN LOS TRES ESTADOS DE LA MAMPOSTERÍA.....	1499
TABLA 6.2: RUBROS REFERENCIALES. ....	151
TABLA 6.3: CANTIDADES Y PRECIOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE MAMPOSTERÍA (MAMPOSTERÍA SIN REFORZAMIENTO).....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
TABLA 6.4: CANTIDADES Y PRECIOS DEL REFORZAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA.....	152

## RESUMEN

El interés principal de este documento es obtener resultados experimentales acerca del comportamiento de la mampostería no armada, no confinada a la acción de cargas laterales. Determinar las diferencias en dicho comportamiento al colocar sobre la mampostería ensayada un reforzamiento, utilizando malla electrosoldada y compararlo con una mampostería reforzada mediante el mismo procedimiento, pero sin haberla ensayado previamente.

Para el análisis teórico de las propiedades mecánicas de la mampostería se utilizó criterios de diseño de varios códigos y normas de construcción como; *CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN (CEC)*, *Subcapítulo de la construcción con mampostería estructural*, el *NSR-98 (Normas Colombianas de Diseño Sismorresistente)* y la *Norma Técnica E.070 Albañilería de Perú*. Algunas propiedades calculadas fueron, la resistencia a la compresión de la mampostería ( $f'_m$ ), módulo de elasticidad ( $E_m$ ) y la resistencia a corte ( $V_m$ ) de la mampostería, el módulo de elasticidad del mortero de pega ( $E_r$ ), entre otras. La determinación de la resistencia nominal a corte del enchape de refuerzo ( $V_n$ ), se determinó empleando el ACI 318S-05 (Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural).

La resistencia calculada se comparó con la resistencia obtenida experimentalmente, determinándose algunos factores que influyeron en la variación de los resultados. Además se realizó un análisis costo beneficio acerca del reforzamiento con malla electrosoldada, demostrándose el bajo costo del mismo y el gran aumento de resistencia.

## PRESENTACIÓN

La mampostería tiene un lugar privilegiado dentro de las construcciones coloniales de gran valor histórico para el país, y ha sido el material de construcción por excelencia dentro de la cultura ecuatoriana a lo largo de los siglos. El desarrollo de la técnica y tecnología de la misma se ha visto menguado por la utilización de nuevos materiales, y prácticamente tanto la fabricación de unidades y la construcción de estructuras de este tipo se las realiza de forma artesanal, basándose no en la racionalidad sino en recetas empíricas; y debido a la falta de conceptos claros se han producido edificaciones inseguras.

En la actualidad es muy común la utilización de diferentes tipos de malla como refuerzo sobre la mampostería, ya que es un procedimiento fácil y muy rápido, pero el comportamiento de ésta mampostería reforzada aún no se ha sometido a pruebas para la determinación de su nivel de eficiencia, o a su vez conocer su verdadero comportamiento.

La presente investigación contiene el análisis del comportamiento de una pared de mampostería construida con ladrillo artesanal sometida a la acción de cargas laterales, la determinación de su resistencia y la comparación con la resistencia obtenida después de realizar sobre la misma un reforzamiento con malla electrosoldada y enchape.

En los capítulos se describen en detalle, tanto la construcción de la mampostería, como los diferentes ensayos a los cuales fueron sometidos los materiales de construcción como las paredes propiamente dichas, así como el análisis teórico de sus propiedades mecánicas mediante la aplicación de varios códigos y normas de la construcción vigentes en varios países.

De los resultados obtenidos se plantean conclusiones y recomendaciones, con el fin de explicar el comportamiento de la mampostería e impulsar futuras investigaciones.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. INTRODUCCIÓN AL SISTEMA**

#### **1.1.1 DEFINICIÓN**

La mampostería es un material estructural compuesto básicamente por dos elementos; por unidades (ladrillo artesanal) y mortero. Por lo tanto es un material de unidades débilmente unidas o pegadas, este hecho es confirmado por ensayos realizados y por la experiencia. Lo que permite afirmar que se trata de un material heterogéneo y anisotrópico, y por naturaleza tiene una elevada resistencia a la compresión, dependiendo esta, de aquella proporcionada por la unidad (ladrillo), mientras la resistencia a la tracción es proporcionada por el mortero en consecuencia es reducida.

#### **1.1.2 HISTORIA DE LA MAMPOSTERÍA<sup>1</sup>**

Probablemente la mampostería haya sido inventada hace unos 15.000 años en el momento en que los hombres nómadas al no encontrar refugio natural apilaban piedras para resguardarse de los embates de la naturaleza. El siguiente paso para su desarrollo debió ser la utilización del mortero de barro, el cual permitía asentar y acomodar con mayor facilidad, así como también cerrar las aberturas entre las rocas y evitar el paso del agua y el viento.

---

<sup>1</sup> Gallegos, H, (1991), Albañilería Estructural, Capítulo 3, Segunda Edición, Lima, Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú

El invento de la unidad de albañilería formada de una masa de barro y secada al sol, para sustituir la piedra, debió ocurrir en un lugar en donde esta última no podía encontrarse. El vestigio más antiguo fue encontrado en Jericó en el Medio Oriente.

El molde inventado por los sumerios un cuarto de milenio antes de Cristo es un avance sustantivo en la construcción de mampostería, pues posibilita la producción rápida de unidades prácticamente iguales.

El adobe que era y es fundamentalmente una masa de barro mezclado con paja, al cual se da forma de paralelepípedo recto colocándolo a presión dentro de un molde de madera para luego dejarla secar al sol. Su invención hizo posible la libertad de construcción y la arquitectura monumental. El adobe fue llevado al horno a principios del tercer milenio antes de Cristo, para hacer ladrillos cerámicos.

La materia prima para la elaboración de unidades de albañilería siempre ha estado condicionada por las características geológicas del lugar donde van a ser utilizadas, por ejemplo el ladrillo cerámico se remonta a Sumeria porque existían grandes depósitos de arcilla, en Egipto mientras tanto, y por la misma época, se pudo escoger y se prefirió la roca traída de las montañas a lo largo del Nilo; calizas, areniscas, granito, basaltos y alabastro fueron explotados en las canteras estatales, asentados con mortero de yeso y sus muros revestidos con enlucidos de yeso y cal, las obras comunes se construyeron de cañas o adobes; el ladrillo cerámico se uso rara vez en Grecia si bien es cierto carecían de canteras grandes como en Egipto pero poseían los mejores mármoles para sus edificaciones.

El aporte de Roma a la mampostería sin duda alguna sería la invención del mortero de cemento y del concreto, los cuales tuvieron los siguientes efectos:

- a) Posibilitar la construcción de cimentaciones más competentes.

- b) Simplificar la construcción de los muros, los cuales eran tradicionalmente de albañilería de piedra o de ladrillos cerámicos asentados con morteros de cal.
- c) Proveer libertad para el desarrollo de la tecnología del arco, la bóveda y la cúpula.
- d) Posibilitar aberturas totales o parciales en los muros usando arcos o bóvedas.

Después de Roma, el avance de la tecnología de la mampostería en Europa se detiene, y hasta retrocede por varios siglos. Se deja de fabricar ladrillos, aunque se usan los de las obras romanas. Los morteros de cemento y el concreto, en particular, desaparecen totalmente perdiéndose su tecnología. Esta es rescatada trece siglos después por Smeaton, el fundador de la Ingeniería Civil, quien en el año 1756 reconoce la necesidad de usar la mezcla de cal y puzolana italiana para la reconstrucción de algunas partes del tercer faro de Eddystone, en Inglaterra. La mampostería fue importante en Europa oriental para controlar los desastrosos incendios que crónicamente destruían sus ciudades medievales.

Ya en 1620, Jacobo I, rey de Inglaterra, había proclamado una ordenanza (antecesora de nuestros reglamentos de construcción) que fijaba el espesor mínimo de muros de sótano y primeros niveles, en dos y medio espesores de ladrillo. Esta fue seguida en 1625 por otra ordenanza que especificaba las dimensiones del ladrillo estándar. Mientras tanto, la mampostería también se utilizaba en otras partes de mundo. La Gran Muralla China de nueve metros de alto tiene una gran parte de sus 2400 kilómetros de largo construidos con ladrillos de arcilla y mortero de cal. Los árabes emplearon la mampostería en sus mezquitas y minaretes, desarrollando una construcción masiva en sus espesores, delicadísima en sus cierres y detallado, conteniendo muchas veces un increíble alarde geométrico.

La revolución industrial en el siglo XVIII provocó la expansión de la aplicación de la mampostería de ladrillos de arcilla, además de la optimización mediante

rediseños de los hornos utilizados en la fabricación de los mampuestos. Esto fue acompañado por el desarrollo de maquinaria auxiliar; molinos, trituradoras y mezcladoras de las materias primas; extrusoras y prensas mecánicas para el formado de unidades. Sin embargo, el cambio más significativo durante la revolución industrial fue la gradual sustitución por métodos científicos de la vía empírica seguida por incontables generaciones pasadas. Por primera vez se realizó un análisis racional de las materias primas, una medición exacta de la temperatura del horno y una formulación de las normas para impedir el agrietamiento del ladrillo.

### 1.1.3 CLASIFICACIÓN DE LA MAPOSTERÍA ESTRUCTURAL<sup>2</sup>

Los tipos de muros a los que se hará referencia en las normas dadas por el *Código Ecuatoriano de la Construcción (Subcapítulo de la Construcción con Mampostería Estructural.)* son las siguientes:

**Mampostería Reforzada.-** Es la estructura conformada por piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero. El mortero de relleno puede colocarse en todas las celdas verticales o solamente en aquellas donde está ubicado el refuerzo.

**Mampostería Parcialmente Reforzada.-** Es la estructura conformada por piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero.

---

<sup>2</sup> Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2001). CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN (Subcapítulo de la Construcción con Mampostería Estructural.) Propuesta de Código. (1<sup>ra</sup> ed.) Quito. INEN.

**Mampostería Simple (No Reforzada).**- Es la estructura conformada por piezas de mampostería unidas por medio de mortero y que no cumplen las cuantías mínimas de refuerzo establecidas para la mampostería parcialmente reforzada.

**Mampostería de Muros Confinados.**- Es la estructura conformada por piezas de mampostería unidas por medio de mortero, reforzada de manera principal con elementos de concreto construidos alrededor del muro o piezas de mampostería especiales donde se vacía el hormigón de relleno logrando un confinamiento a la mampostería. Cuando se emplean éstas piezas especiales, estas pueden ser consideradas como parte del recubrimiento de los elementos de concreto reforzado.

## 1.2. ANTECEDENTES

El conocimiento racional de la mampostería es importante no solo por la gran cantidad de edificaciones construidas con este material en nuestro país y por el gran valor histórico de estas, sino por ser un material estructural excelente, debido a la gran resistencia a la compresión que presenta. Se ha utilizado en diferentes épocas y circunstancias para construir elementos diversos como arcos, vigas y columnas. Su expresión fundamental es el muro, este último que puede ser destinado para varios fines, por ejemplo, a la contención de tierra o de líquidos, en reservorios y silos, puede ser elemento estructural portante correspondiente a un edificio diafragmado, simplemente un cerco, un tabique o parapeto. La presente investigación procura dar a entender el comportamiento del material estructural, posibilitando así que se aplique correctamente.

Razones como el bajo costo, disponibilidad, facilidad en su fabricación y durabilidad hacen que este material constructivo siga vigente a pesar del tiempo. Motivos como la protección que brinda contra el fuego, el aislamiento térmico y acústico, la distribución de espacios y mejora en la apariencia estética, más allá de la construcción de viviendas, son argumentos que le dan peso a la decisión de emplearlos.



Pero eventos sísmicos ocurridos a lo largo de la historia, como es el caso del sismo ocurrido el 28 de marzo del año 1996, en las poblaciones alrededor de las provincias de Tungurahua y Cotopaxi, en donde: “las paredes anchas de adobe no aguantaron, las ventanas grandes reventaron, as puertas de madera tostada se desprendieron. La gente comentaban sobre los 20 segundos más largos de sus vidas y alguien en voz alta dió gracias a Dios que sucedió cuando el sol aún no se retiraba”<sup>3</sup> dan testimonio de que las viviendas construidas con mampostería, pueden presentar un alto riesgo para sus habitantes, provocando grandes desastres en las poblaciones cuyas edificaciones se ven gravemente afectadas, ocasionando miles en pérdidas materiales y lamentablemente también humanas.

En nuestro país, ubicado en una zona con alto peligro sísmico, es importante poseer técnicas de rehabilitación de mampostería, ya que, un alto porcentaje de viviendas y edificaciones, generalmente asentadas en los cascos coloniales de las principales urbes, fueron construidas con este sistema, el cual se caracteriza por utilizar muros excesivamente gruesos, a base no de racionalidad sino de recetas empíricas, las mismas que aún no tienen una teoría y técnica valedera para conocer realmente cuales son sus capacidades mecánicas y estructurales, que permitirían prever su comportamiento ante peligros sísmicos.

En la presente tesis se desea determinar las características mecánicas de un tipo de mampostería en especial, no armada no confinada hasta llevarla al agotamiento, para partiendo de este punto proponer su rehabilitación (reforzamiento), utilizando malla electrosoldada en un enchape, el cual se forma con un mortero de relación 1:3 colocado en las dos caras de la mampostería con un espesor de 3 cm, el que posee como refuerzo la malla electrosoldada, para luego determinar su eficiencia para recuperar la resistencia.

En materia de mampostería se cuenta con varias investigaciones realizadas en la Escuela Politécnica Nacional, en las cuales, se analizaron diferentes *procedimientos de diseño y modelos experimentales* de mampostería, por

---

<sup>3</sup> El Comercio. Mar 28. Op.Cit. Pag 10 - 14.

ejemplo; en el año 2006 se analizó *mampostería confinada y mal confinada* y su rehabilitación con malla electrosoldada. La presente tesis además de la rehabilitación con malla electrosoldada, pretende comparar el comportamiento que presenta dicha rehabilitación en una mampostería agrietada (ensayada previamente) con una a la que no se le haya sometido a ensayo alguno, ante la exposición a cargas laterales.

## **1.3 ALCANCE Y OBJETIVOS**

### **1.3.1 ALCANCE**

Es necesario determinar la resistencia real a corte de paredes de mampostería no armada no confinada, así como también analizar los resultados que produce la colocación de malla electrosoldada dentro del enchape de refuerzo, justificar si es eficaz o no, comparar el comportamiento de una mampostería agrietada previamente, reforzada con malla electrosoldada con una mampostería no agrietada pero reforzada mediante el mismo sistema. Los resultados permitirán obtener valiosas conclusiones, y proponer formas alternativas de rehabilitación seguras y económicas.

### **1.3.2 OBJETIVOS**

#### **1.3.2.1 Objetivo General**

Realizar un estudio comparativo del comportamiento entre dos paredes de mampostería no armada no confinada, reforzadas con un enchape de relación 1:3 y malla electrosoldada; una de ellas agrietada hasta su falla (ensayada previamente) y la otra sin agrietamiento.

### 1.3.2.2 Objetivos Específicos

- Conocer las fortalezas y debilidades del sistema constructivo, para poder plantear sugerencias, recomendaciones y mejoras en el sistema.
- Determinar la resistencia a carga lateral de la mampostería antes y después de colocar la malla de refuerzo.
- Realizar un análisis costo – beneficio del uso de este tipo de malla de refuerzo utilizada en la mampostería.
- Plantear conclusiones y recomendaciones acerca de los tipos de refuerzo.

## 1.4 ANÁLISIS DE EXPERIENCIAS PREVIAS

<sup>4</sup>La Asociación de Ingeniería Estructural de California en 1957, desarrolló un programa de investigación, para probar una adecuada rehabilitación de muros de mampostería no reforzada que existían desde 1933.

La rehabilitación consistió en aplicar menos de 1 in, de mortero de reforzamiento con malla electrosoldada de alambre galvanizado en cada lado de la mampostería antigua.

Se ensayaron 20 muros, de los cuales en 16 de ellos la malla envolvía la mampostería, y los 4 restantes fueron construidos sin mortero de refuerzo y sin malla, para tener parámetros de comparación.

La falla última de los muros sin enchape fue de 27 lb/in<sup>2</sup> (1.9 kg/cm<sup>2</sup>) en promedio, mientras que en las reforzadas se presentaron esfuerzos entre las 58 y 71 lb/in<sup>2</sup> (4.08 y 5.0 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente). Esto demostró que la resistencia a corte de los especímenes depende en alto grado de la capacidad del enchape para resistir tensión diagonal.

---

<sup>4</sup> Schneider R., Dickey W., (1980), Reinforced Masonry Design, Décima Edición, New Jersey, Prentice – Hall.

Partiendo de varias investigaciones previas realizadas en la Escuela Politécnica Nacional acerca de diferentes tipos de mampostería y sus componentes, se ha llegado a determinar lo siguiente;

<sup>5</sup> *“Las edificaciones que utilizan el sistema de mampostería, consisten básicamente en edificaciones cerradas, tipo cajón, que mantienen la misma distribución en planta en todos los niveles, en las que se considera a la mampostería como un elemento estructural que soporta cargas gravitacionales y leves cargas sísmicas o de viento, esto debido al gran peso de los elementos que lo conforman, lo cual logra mantener su equilibrio.*

*Los principales tipos de solicitaciones en un panel de mampostería son:*

- *Carga axial.*
- *Flexión en su plano.*
- *Fuerza cortante.*

*Las acciones antes indicadas producen esfuerzos de tensión, compresión y corte.”*

<sup>6</sup> En mampostería es muy importante el proceso constructivo a fin de proporcionar un buen confinamiento (según sea el caso). Este produce en la pared una mejora sustancial en la resistencia última aunque sacrifica un tanto su rigidez inicial, lo que provoca la formación de grietas a menor magnitud de carga lateral aplicada.

---

<sup>5</sup> Villacreces W., (1992), Modelación de Paneles de Mampostería en el Estudio Analítico de Edificios, Tesis EPN. Quito.

<sup>6</sup> Zabala O., Zabala J., (2006), Rehabilitación de Mamposterías Agrietadas de Ladrillo Artesanal, Tesis PUCE, Quito.

La rehabilitación con malla electrosoldada en mampostería confinada, da como resultado la recuperación total e incluso eleva la rigidez original de la pared; en términos de deformación esta rehabilitación alcanza un 165% de eficiencia. En una pared rehabilitada, el enchape de refuerzo absorbe casi la totalidad de los esfuerzos inducidos (95%) y se puede considerar como un elemento homogéneo sin mayor presencia de vacíos en su composición, el 5% restante es absorbido como resistencia residual de la mampostería de ladrillo. Esta técnica de reparación permite resistir mayor magnitud de carga con deformaciones mínimas, es decir, en esta investigación en particular se aumentó 4 veces la rigidez original de la mampostería.

En investigaciones previas realizadas en la Escuela Politécnica Nacional, en las gráficas  $\bar{\sigma}$  Vs.  $\epsilon$  obtenidas de paredes de mampostería de ladrillo reparadas, es difícil encontrar el límite de proporcionalidad de la curva, debido a que no existe un cambio marcado de pendiente.

De la investigación "*Rehabilitación de Mamposterías agrietadas de Ladrillo Artesanal*" realizada en el año 2006, se puede afirmar que con esta técnica de reparación de mampostería se acrecienta claramente el comportamiento elástico de la misma, el crecimiento en este caso fue del 500%."

## **1.5 METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO**

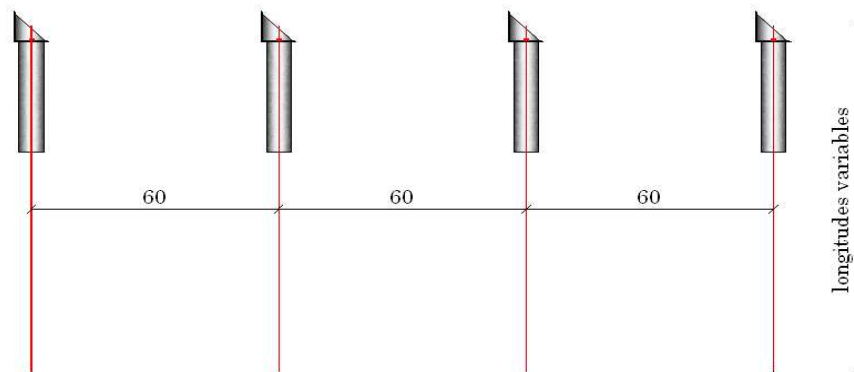
Para la elaboración del presente proyecto se realizaron tres pruebas destructivas: la primera, en una pared de mampostería no armada no confinada, la segunda, en la pared antes ensayada, es decir, agrietada, la cual fue reforzada con malla electrosoldada R - 131 en un enchape de 3cm de espesor, y la tercera, en una pared de las mismas características que la anterior pero sin ningún ensayo previo, las cuales fueron sometidas a carga horizontal hasta su agotamiento. Previo a realizar los ensayos destructivos se tuvo que armar las paredes de la manera más

cercana a la realidad posible, esto sirvió para conocer acerca de su proceso constructivo para el cual se procedió de la manera que se explica a continuación.

- Se colocó los apoyos antideslizantes de acero estructural con las características que se muestran en la figura No 1.1, los cuales se anclaron a la losa de reacción con ayuda de tirantes de acero  $\phi = 12\text{mm}$  y  $f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$  como se indica en la figura No 1.2, roscados 15cm en la parte superior e inferior.

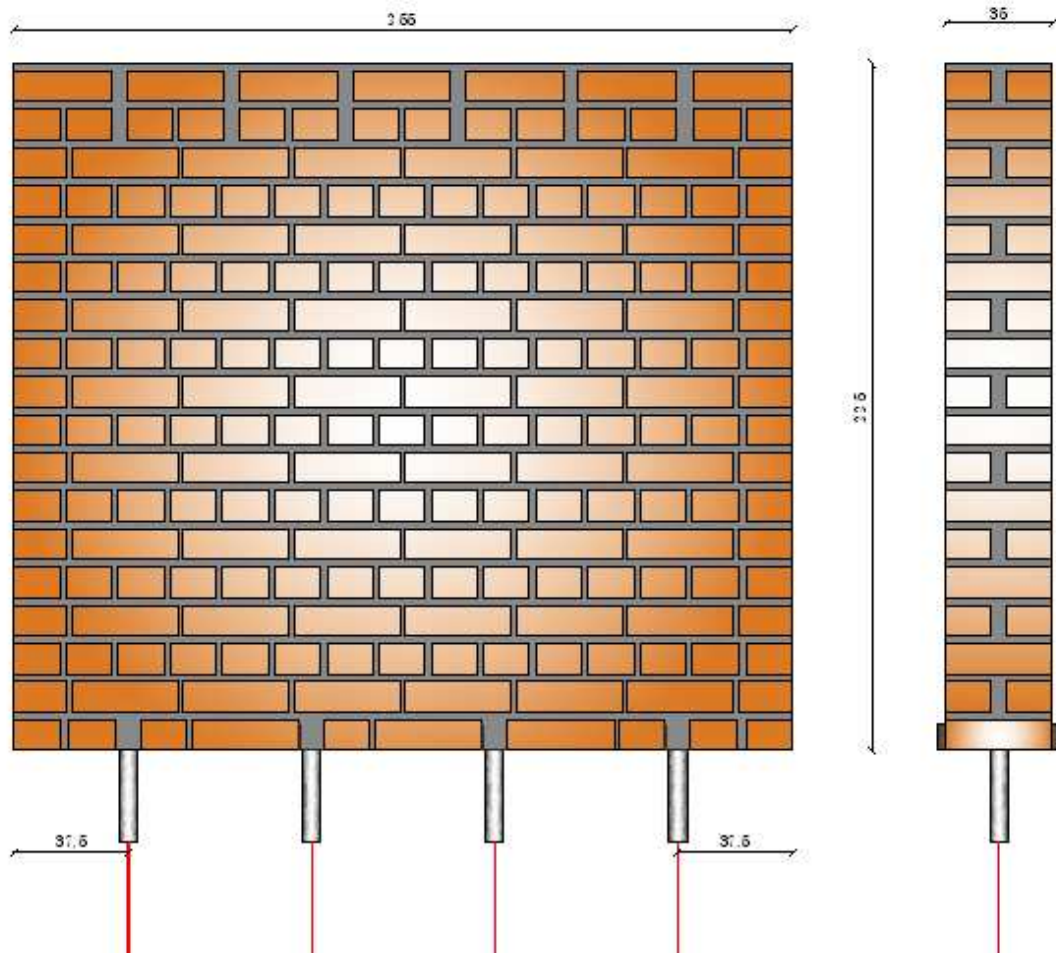


**Figura 1.1:** Dimensiones de apoyo antideslizante.



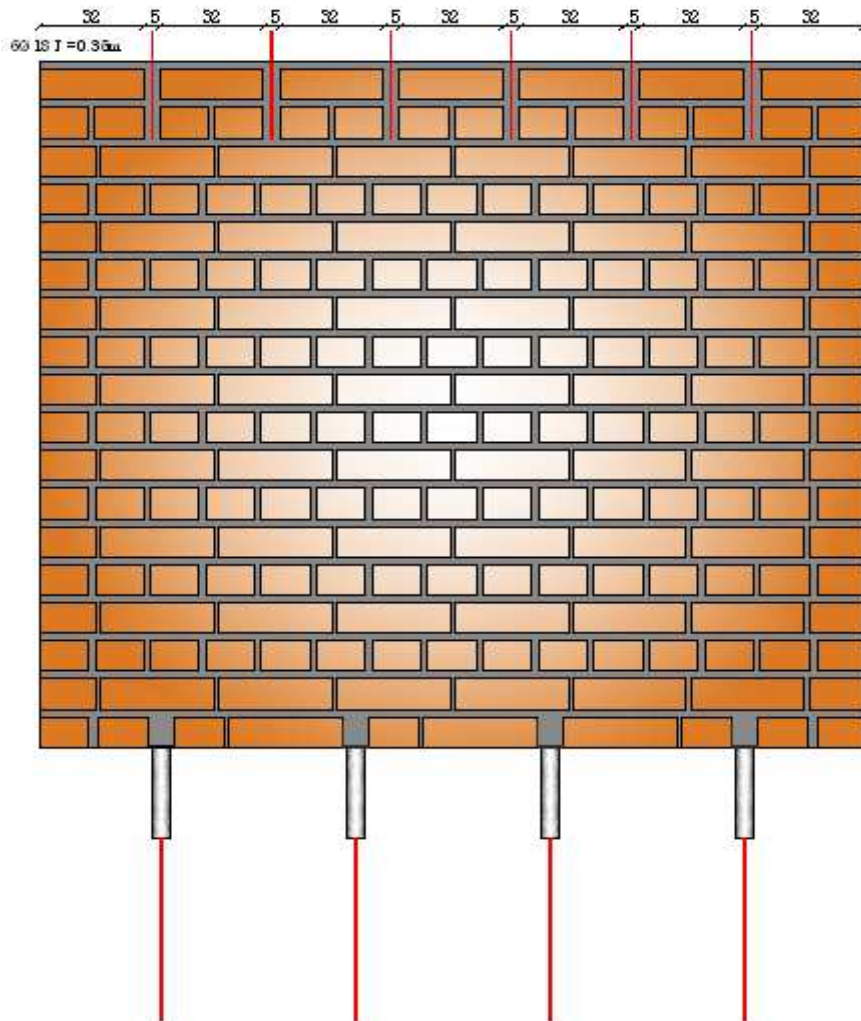
**Figura 1.2:** Apoyos antideslizantes para 2 ejes.

- Se levantó cada pared con ladrillo artesanal y traba tipo inglés, el acomodamiento de los ladrillos en esta traba se puede apreciar en la figura a continuación.



**Figura 1.3:** Traba tipo inglés para pared de ladrillo.

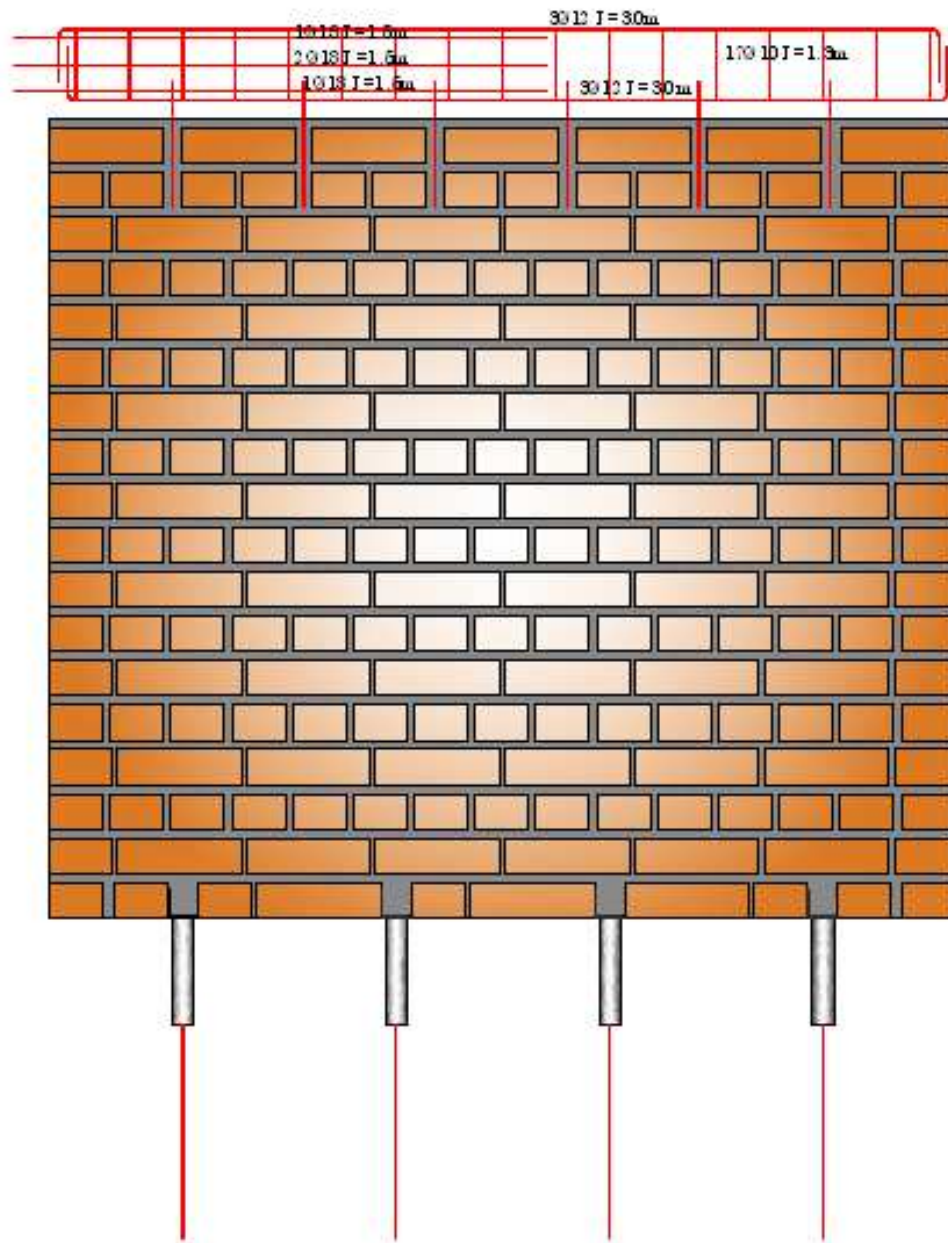
- Faltando dos filas de ladrillo para terminar la pared se dejaron aberturas de 5cm de espesor cada 32 cm, para fundir monóticamente 6 trabas o dentellones con la viga de coronación (ver figura No 1.4), para evitar su deslizamiento.



**Figura 1.4:** Pared con trabas para viga de coronación.

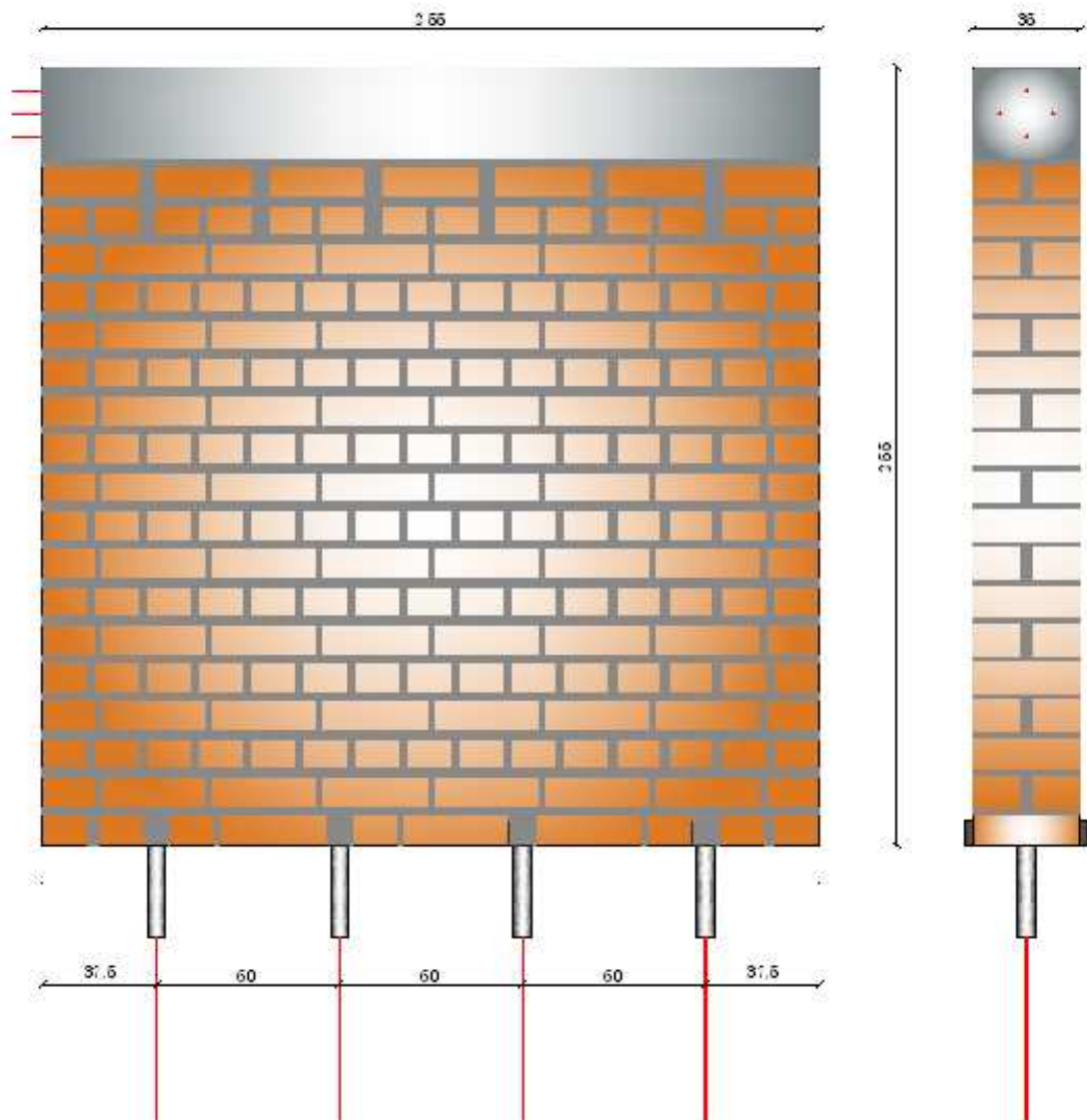


- Se construyeron las vigas de coronación para ambas paredes tomando en cuenta el eje por donde se aplicará la carga durante el experimento. El detalle del armado de la viga se muestra en la siguiente figura.



**Figura 1.5:** Armado de viga de coronación.

### 1.5.1 Ensayos a Carga Horizontal y Vertical



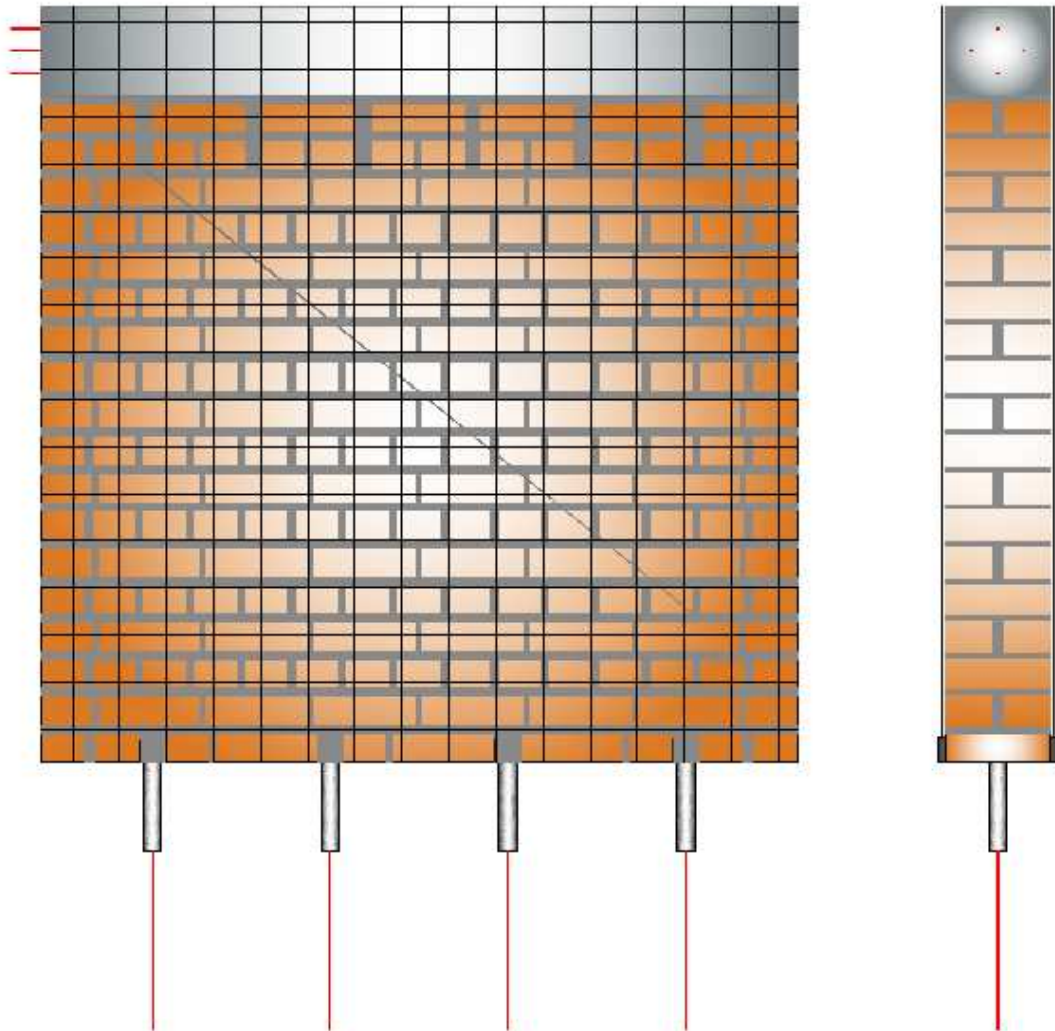
**Figura 1.6:** Pared terminada.

Se realizaron tres ensayos destructivos a carga lateral bajo las siguientes condiciones:

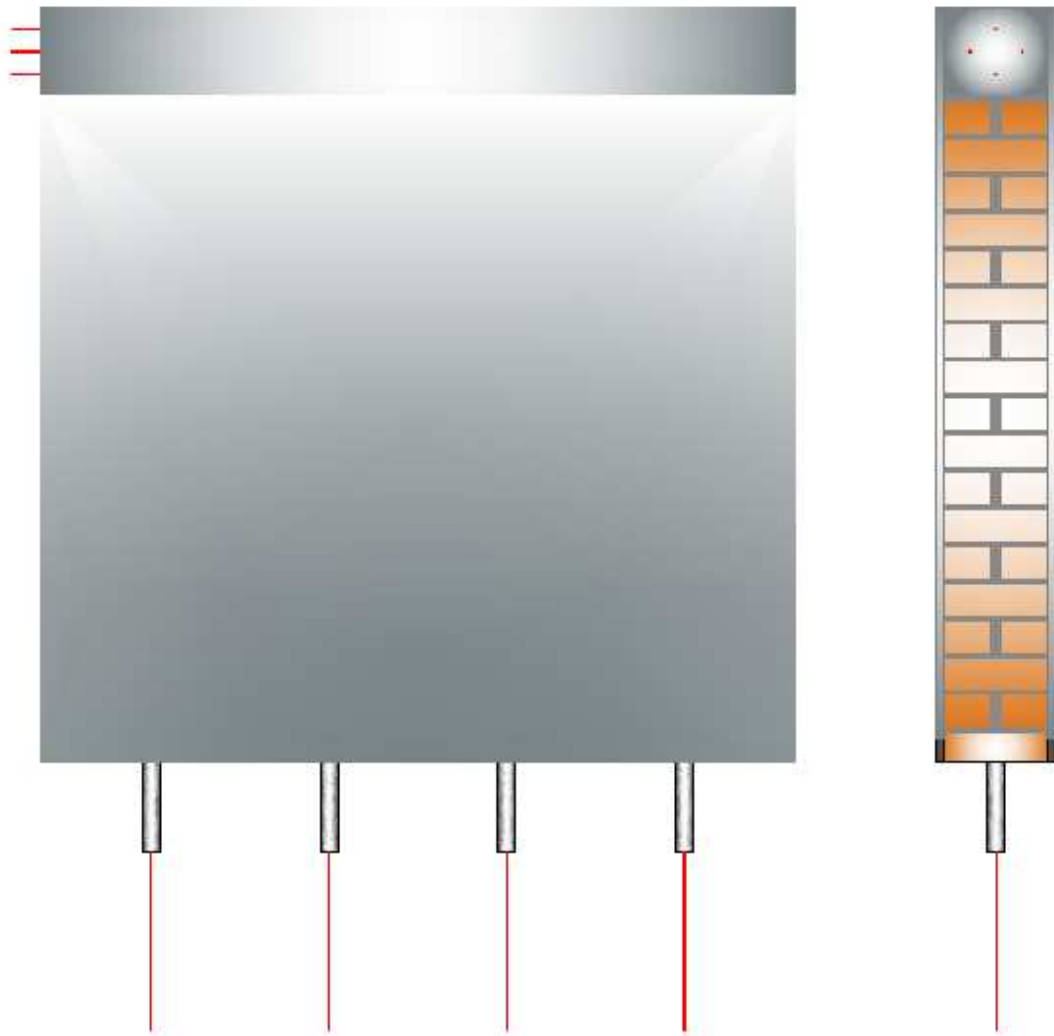
- El primero, en una pared de mampostería no armada no confinada, consistió en aplicar carga lateral cíclica en la parte superior de la pared en la dirección paralela al muro, y una carga vertical estática de 8 t. La carga lateral fue incrementando hasta llegar a la falla de la mampostería. Para

evitar el volcamiento se colocaron tensores a los dos extremos de la pared (varillas corrugadas  $\phi$  20 mm).

- El segundo ensayo se realizó sobre la misma pared antes mencionada, pero en este caso fue reforzada con malla electrosoldada R - 131 en un enchape de 3cm de espesor después de haber realizado la primera prueba. Las características de este nuevo ensayo fueron las mismas que las del primero.



**Figura 1.7:** Pared no armada no confinada agrietada debido al ensayo previo realizado, se aprecia la malla electrosoldada colocada para su reforzamiento.



**Figura 1.8:** Pared reforzada con enchape.

- El tercer ensayo se realiza en una pared de las mismas características que la anterior, pero en este caso su reforzamiento se realiza sobre la mampostería sin que ésta esté agrietada. El ensayo contó con dos partes; la primera parte fue realizada con las mismas características que los dos ensayos anteriores; en la segunda parte, debido a las grandes fuerzas de volcamiento, se colocaron los cuatro tensores a un solo extremo de la pared, y se aplicó carga lateral solo de empuje hasta llevar la pared a la falla o agotamiento.

Los resultados encontrados se obtuvieron en términos de deformaciones y esfuerzos. Al final del análisis de los resultados se obtienen las respectivas conclusiones y recomendaciones sobre el comportamiento del sistema.

## CAPÍTULO II

### EQUIPOS Y MATERIALES

#### 2.1 INSTRUMENTOS

Los instrumentos necesarios para la realización de esta investigación fueron proporcionados por el Centro de Investigación de la Vivienda de la EPN, los que se utilizaron especialmente dentro del dispositivo de transmisión de carga y para la obtención de datos.

El dispositivo de transmisión de carga consta de un gato hidráulico unido a la celda de carga con un acople y esta a su vez está unida a la rótula en donde se conecta con la placa que deberá anclarse a la pared por medio de varillas roscadas  $\phi$  18mm en el sitio de aplicación de la carga. Los componentes del dispositivo de carga son los siguientes:

- Gato hidráulico ENERPAC con capacidad de 100 toneladas (aplicación de carga lateral).
- Gato hidráulico ENERPAC con capacidad de 100 toneladas (aplicación de carga axial vertical)
- Rótula.
- Placa de unión pared – rótula.
- Acople para celda de carga y gato hidráulico.
- Bomba eléctrica ENERPAC con capacidad de 100 toneladas.
- Mangueras de presión ENERPAC con capacidad de 20000 Psi
- Celda de carga HBM-KRAFTAUFNEHMEP FORCE TRANSDUCER - con capacidad de 200 KN 2mv/V.
- Celda de carga HBM-HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK C6A# 76941 – con capacidad de 500KN 2mV/V

- Celda de carga construida por el personal del Centro de Investigación de la Vivienda de la EPN con capacidad de 100 t.
- Sistema UPM100 HBM de 80 canales para recopilación y procesamiento de datos de carga y deformación de manera digital para lo que se utilizó el software CATMAN.
- Placa de transmisión de carga

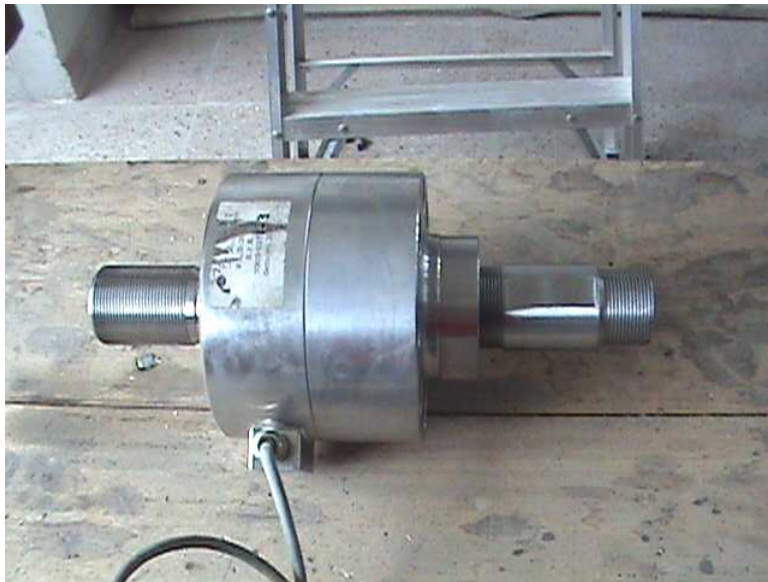
Además se utilizaron cuatro strain gages tipo EA-06-250BG-120, colocados en varillas  $\phi$  20mm, para controlar la deformación que se produce en cada una de ellas. Las varillas se ubicaron a los extremos de la pared para evitar el volcamiento de la misma.



**Fotografía 2.1:** Gato hidráulico de carga cíclica con capacidad de 20 T.



**Fotografía 2.2:** Bomba eléctrica ENERPAC con capacidad de 100 Toneladas.



**Fotografía 2.3:** Celda de carga con su respectivo acople.





**Fotografía 2.4:** Rótula.



**Fotografía 2.5:** Dispositivo de transmisión de carga armado completamente.

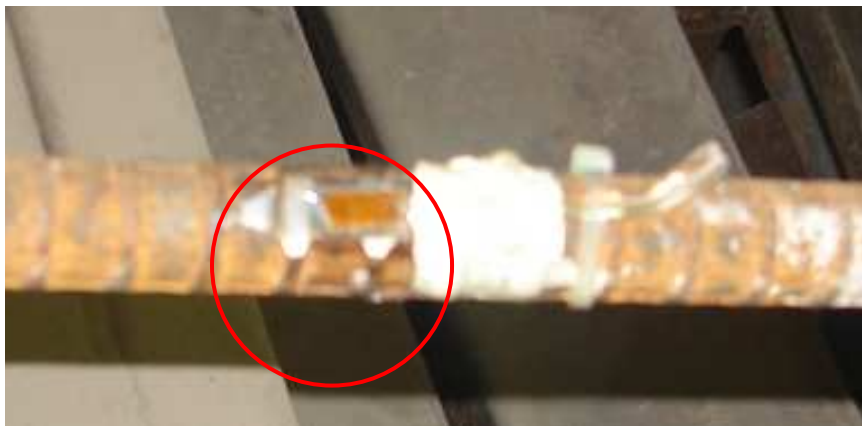


**Fotografía 2.6:** Celda de Carga construida por el personal del Centro de investigación de la Vivienda de la EPN.

- LVDTs HBM de 100 mm - 80 mv/V (*Traductores de Desplazamiento Lineal Variable*), sirven para medir deformaciones.



**Fotografía 2.7:** LVDTs.



**Fotografía 2.8:** Strain Gages Instalado en la varilla tensor.

## **2.2 EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN Y REFORZAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA**

### **2.2.1 EQUIPOS**

A continuación se pueden apreciar las fotografías de los equipos utilizados a lo largo del proceso de construcción de las paredes de mampostería, desde los apoyos antideslizantes tipo Tee de acero, hasta el ensamble del dispositivo de carga necesario para la aplicación de la carga lateral sobre la mampostería.



**Fotografía 2.9:** Apoyos antideslizantes tipo Tee de acero.



**Fotografía 2.10:** Concreteira para mezclar el hormigón.



**Fotografía 2.11:** Moldes para cilindros de hormigón.



**Fotografía 2.12:** Balanza de precisión, para pesar todas las muestras.



**Fotografía 2.13:** Máquina para realizar los ensayos a compresión de las muestras (prismas y cilindros).



**Fotografía 2.14:** Moldes metálicos para tomar las muestras de mortero.

## 2.2.2 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

### 2.2.2.1 Hormigón de vigas para el ensayo de laboratorio

En este caso el hormigón debe ser dosificado en la mezcla para obtener una resistencia a la compresión de  $210 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días de edad, para lo cual es recomendable seguir instrucciones y proporciones recomendadas en varios textos, como es el caso del *Vademécum de la Construcción*<sup>7</sup>, el cual propone una dosificación volumétrica de 1:2:3 (cemento, arena, grava) para agregado grueso de dimensión máxima 76 mm.

Para obtener esta propiedad se debe tomar en cuenta todos los requerimientos tanto de calidad de materiales como el uso de equipos para garantizar una buena mezcla de sus componentes.

### 2.2.2.2 Acero de refuerzo en vigas

El acero de refuerzo a utilizarse estará compuesto por varillas corrugadas con  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$  las cuales deben estar limpias y sin corrosión. Como refuerzo

---

<sup>7</sup> Edifarm. (2004), *Vademécum de la Construcción*. (1<sup>ra</sup> ed.) Quito.

longitudinal se utilizará seis varillas  $\phi = 12$  mm y para el refuerzo transversal, estribos de varilla corrugada  $\phi = 10$  mm cada 15 cm., como se aprecia en la figura No. 1.5.

### **2.2.2.3 Tensores de Acero para evitar el volcamiento**

Como tensores se utiliza varillas corrugadas de acero roscadas en cada extremo cuyo esfuerzo de fluencia es  $f_y = 4200$  Kg/cm<sup>2</sup> con un diámetro de  $\phi = 20$ mm las cuales tienen una resistencia de hasta 13.2 t. cada una antes de llegar a la fluencia.

### **2.2.2.4 Malla Electrosoldada**

Como acero de refuerzo en el enchape se utilizó malla electrosoldada, formada por varillas corrugadas de  $\phi = 5$  mm., de apertura cuadrada de 15 cm., cuyo  $f_y = 4200$  Kg/cm<sup>2</sup>, comercialmente a esta malla se la llama R-131<sup>5</sup>.

## **2.3 LADRILLOS**

Los ladrillos son el componente básico para la construcción de la mampostería, se fabrican de arcilla o tierra arcillosa, con adición de material árido, de suficiente plasticidad o consistencia para que pueda tomar forma permanente, secarse y para que no se presenten grietas, nódulos o deformaciones. Adicionalmente no deben contener material alguno que pueda causar eflorescencia o manchas en el acabado.

Se utiliza, generalmente dos clases de arcillas, la primera no calcárea o esquistos arcillosos con arena y componentes de hierro y feldespato, la segunda también calcárea que contiene más de un 40% de carbonato de calcio con un pequeño contenido de hierro.

La norma INEN 293<sup>8</sup> prevé condiciones generales con respecto a la materia prima así como también respecto al fabricado y dimensiones de las unidades de albañilería.

### 2.3.1 TIPOS DE LADRILLOS <sup>9</sup>

Las normas INEN 297 reconocen seis tipos de ladrillos cerámicos A, B, C, D, E, F que deben cumplir los siguientes requisitos.

**Tipo A.-** Será ladrillo prensado de color rojizo uniforme, con ángulos y aristas rectas. No tendrá manchas, eflorescencias, quemados ni desconchados en caras ni aristas.

**Tipo B.-** Será ladrillo de máquina de color rojizo uniforme, con ángulos y aristas rectas, difiriéndose del tipo A en que puede tener pequeñas imperfecciones en sus caras exteriores, así como variaciones de rectitud en sus aristas de hasta 5 mm.

**Tipo C.-** Será semejante al tipo B, diferenciándose en que puede ser fabricado a mano y tener pequeñas imperfecciones en sus caras exteriores, así como variaciones de rectitud en sus aristas de hasta 8 mm.

**Tipo D.-** Podrá emplearse en la construcción de muros soportantes, tabiques divisorios no soportantes y relleno de losas alivianadas de hormigón armado.

---

<sup>8</sup> Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977).NORMA INEN 293 “LADRILLOS CERAMICOS DEFINICIONES, CLASIFICACION Y CONDICIONES GENERALES” NUMARAL 4. Quito. INEN.

<sup>9</sup> Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977).NORMA INEN C-297 “LADRILLOS CERÁMICOS REQUISITOS”. Quito. INEN.



**Tipo E.-** podrá emplearse únicamente en la construcción de tabiques divisorios no soportantes y relleno de losas alivianadas de hormigón armado.

**Tipo F.-** Podrá emplearse únicamente en el relleno de losas alivianadas de hormigón armado”.

**Muestreo.-** Tiene por objeto establecer los planes de muestreo doble para la recepción de ladrillos empleados en la construcción. Se aplica a lotes de ladrillos cerámicos fabricados de arcilla moldeada y cocida. No comprende ladrillos refractarios o fabricados con materiales silíceo - calcáreos. Los planes de inspección corresponden a un nivel de calidad aceptable del 6.5% y un nivel S-2 de inspección especial de acuerdo a la norma INEN 255<sup>10</sup>.

### **Tipo de ladrillos cerámicos**

La norma ecuatoriana INEN 293<sup>11</sup> clasifica a los ladrillos cerámicos en los siguientes términos.

- **Ladrillo común:** Es el moldeado a mano.
- **Ladrillo de máquina:** Es el moldeado a máquina y en producción continua.
- **Ladrillo prensado:** Es el que se prensa entre el molde y la cocción.
- **Ladrillo macizo:** Es el fabricado a mano sin perforaciones en su interior, o con perforaciones que no pasan el 20% de su volumen.

---

<sup>10</sup> Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1979).NORMA INEN C-255 “CONTROL DE CALIDAD PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO y TABLAS PARA LA INSPECCION POR ATRIBUTOS”. Quito. INEN.

<sup>11</sup> Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977).NORMA INEN C-293 “LADRILLOS CERAMICOS DEFINICIONES, CLASIFICACION Y CONDICIONES GENERALES”. Quito. INEN.

## 2.4 MORTERO<sup>12</sup>

El mortero cumple la función de asumir las inevitables irregularidades de las unidades, y sobre todo, la de unir las o adherirlas con relativa estabilidad dentro del proceso constructivo, proveyendo de rigidez a la hilada y permitir el asentado de la siguiente hilada. La adhesión completa con la unidad de mampostería es la función más importante del mortero.

El mortero no puede ni debe ser curado a diferencia del hormigón, hacerlo implica humedecer la mampostería causando deformaciones de expansión y contracción, que por ser restringidas atentan contra la adhesión del mortero y las unidades de mampostería.

Mortero es la mezcla de uno o dos aglomerantes (cemento o cal o los dos a la vez), con agregado fino (arena) y agua.

La propiedad fundamental del mortero en el estado plástico es su trabajabilidad, esto es, la capacidad de ser esparcido con facilidad sobre las unidades de mampostería, de adherirse a superficies verticales y de lograr contacto íntimo y completo con las irregularidades de éstas, lo opuesto es un mortero áspero, cohesión, plasticidad y consistencia definen la trabajabilidad.

Se llama consistencia o temple a la habilidad del mortero a fluir, y retentividad a la capacidad de mantener su consistencia durante el asentado, se puede conseguir morteros con la consistencia deseada con solo modificar la cantidad de agua agregada, sin embargo estos pueden tener características de retentividad insatisfactorias.

---

<sup>12</sup> Gallegos, H, (1991), Albañilería Estructural, Capítulo 5. Segunda Edición, Lima, Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Las propiedades del mortero endurecido son la adherencia y la resistencia a la compresión sabiendo distinguir el valor unitario de la adhesión y la extensión del área de contacto.

A continuación se indica la influencia de cada uno de los elementos componentes del mortero en las propiedades finales del mismo.

- El cemento proporciona la adhesión y resistencia a la compresión, sin embargo los morteros de cemento puro, es decir sin la presencia de cal, tienden a ser ásperos y poco retentivos, por tanto son difíciles de trabajar. Además estos producen áreas de contacto de extensión reducidas, y al producir contracciones de fraguado tienden a retraer el mortero y destruir la adhesión con las unidades de mampostería.
- En morteros exclusivamente de cal, la resistencia a la compresión y la adhesión serán muy reducidas; además el ritmo de construcción sería bajo, debido a que el endurecimiento por carbonatación es muy lento. En cambio al agregar cal a los morteros de cemento, hace que aumente la demanda de agua para lograr la misma resistencia que un mortero de cemento puro, pero la cal hace posible un aumento sustancial en el área de extensión lo que se traduce en mayor adhesión, y las grietas que se producen en morteros de cemento puro al dar acceso al aire son cerradas y restañadas por el carbonato de calcio en formación, proveyendo de durabilidad e integridad a la mampostería.
- El agua es el único componente que determina la fluidez del mortero. Para conseguir la máxima adhesión se debe buscar la máxima consistencia compatible con el manipuleo del bailejo. *El agua utilizada para el mortero de pega debe estar limpia y libre de elementos perjudiciales tales como*

*aceites, ácidos, alcoholes, sales, materias orgánicas u otras sustancias que puedan ser dañinas para el mortero o el refuerzo embebido*<sup>13</sup>.

- Las arenas gruesas aumentan la resistencia a la compresión del mortero y producen morteros ásperos, mientras que las arenas finas reducen la resistencia a la adhesión, en consecuencia debe preferirse las arenas bien graduadas, pues producen morteros trabajables y adhesivos. Estas características mejoran si las partículas de la arena son redondeadas.
- Desde mediados del siglo pasado se viene desarrollando toda una tecnología sobre los aditivos haciendo que estos cumplan funciones como acelerantes, retardantes o reductores de agua. Se define como aditivo, según la *ACI*, a un material diferente al agua, cemento y agregados, que se adiciona a una mezcla antes o durante tal proceso.

#### **Clasificación de los aditivos según la norma ASTM 494.**<sup>14</sup>

Los aditivos se clasifican por su función en el concreto. La clasificación de la Norma ASTM C 494-08 es la siguiente:

TIPO A: Reductor de agua

TIPO B: Retardador de fraguado

TIPO C: Acelerador de fraguado

TIPO D: Reductor de agua y retardador

TIPO E: Reductor de agua y acelerador

TIPO F: Reductor de agua de alto efecto

TIPO G: Reductor de agua de alto efecto y retardador

---

<sup>13</sup> American Concrete Institute, (2005). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentarios. (1<sup>ra</sup> ed julio 2005). Florida. ACI

<sup>14</sup> American Standard Test Methods. (2008) Norma ASTM C 494/494M "Standard specification for chemical admixtures for concrete". Estados Unidos. ASTM.

La dosificación del mortero debe basarse en ensayos previos de laboratorio o en experiencias en obras similares y se clasifica de acuerdo con la dosificación mínima de sus componentes y con la resistencia a la compresión.

*“Los morteros de pega deben cumplir con la norma ASTM C270. Estos morteros deben tener buena plasticidad, consistencia y ser capaces de retener el agua mínima para la hidratación del cemento y además, garantizar su adherencia con las unidades de mampostería para desarrollar su acción cementante”<sup>15</sup>.*

Esta clasificación se muestra en la siguiente tabla 2.1<sup>16</sup>:

**Tabla No. 2.1:** Tipo de morteros, dosificación y resistencia mínima a compresión a los 28 días.

Tipo de Mortero	Resistencia mínima A compresión 28 días (Mpa)	Composición en partes por volumen		
		Cemento	Cal	Arena
M20	20	1	-	2.5
M15	15	1	- 0.5	3 4
M10	10	1	- 0.5	4 5
M5	5	1	- 1	6 7
M2.5	2.5	1	- 2	7 9

Fuente: CEC, (Subcapítulo de la Construcción con Mampostería Estructural).

<sup>15</sup> Ortiz Marcel, y Proaño Omar (2007), Ensayos a Carga Horizontal de Mamposterías Reforzadas con el Sistema Constructivo Fc Block, Tesis EPN, Quito

<sup>16</sup> Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2001). CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN (Subcapítulo de la Construcción con Mampostería Estructural). Propuesta de Código. Tabla III – 1. (1<sup>ra</sup> ed.) Quito. INEN.

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO DEL EXPERIMENTO**

#### **3.1 ELEMENTOS**

Los elementos componentes de la mampostería a ensayar, descritos anteriormente como materiales, fueron sometidos a diferentes ensayos con el fin de conocer algunas de sus propiedades mecánicas, para de esta forma realizar una predicción teórica, basada en la *Propuesta de Código del Código Ecuatoriano de la Construcción (Subcapítulo de la Construcción con Mampostería Estructural)*, sobre la resistencia y comportamiento de la mampostería como conjunto.

##### **3.1.1. ENSAYOS SOBRE LOS MAMPUESTOS**

Los mampuestos utilizados en la presente investigación son ladrillos macizos de arcilla, de fabricación artesanal, sobre los que se realizaron los ensayos a continuación descritos.

###### **3.1.1.1 Definiciones, clasificación y condiciones generales**

Con el objetivo de definir, clasificar e identificar las condiciones generales de los ladrillos utilizados en esta investigación, se utilizó la Norma INEN 293<sup>17</sup> la cual los reglamenta:

---

<sup>17</sup> Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977). NORMA INEN 293 “LADRILLOS CERAMICOS DEFINICIONES, CLASIFICACION Y CONDICIONES GENERALES”. Quito. INEN.

Para los mampuestos utilizados en la investigación:

**Ladrillo:** Es una pieza de arcilla moldeada y cocida, en forma de paralelepípedo o prisma rectangular.

**Ladrillo común (mambrón):** Es el ladrillo moldeado a mano.

**Ladrillo Macizo:** Es el ladrillo fabricado a mano o a máquina, sin perforaciones en su interior, o con perforaciones celulares que pueden llegar hasta el 20% de su volumen.

### 3.1.1.2 Variaciones Dimensionales

Para el cálculo de la variación dimensional se utilizó diez ladrillos. En la tabla No 3.2 se puede apreciar el cálculo y su resultado.



**Fotografía 3.1:** Muestra de ladrillos para la realización de los diferentes ensayos.



**Fotografía 3.2:** Toma de dimensiones de los mampuestos.

Del cálculo se concluye que no se presenta mayor variación en sus dimensiones, a pesar del origen artesanal de los mampuestos.

### **3.1.1.3 Resistencia a la compresión**

Para la determinación de la resistencia a la compresión de los ladrillos utilizados en esta investigación, se utiliza la Norma INEN 294<sup>18</sup>, la cual reglamenta su ensayo.

---

<sup>18</sup> Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977).NORMA INEN 294 “LADRILLOS CERAMICOS DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION”. Quito. INEN.





**Fotografía 3.3:** Medición del peso de los mampuestos con ayuda de una balanza electrónica.

Se ensayaron diez muestras, siguiendo el procedimiento especificado en la norma mencionada anteriormente. En la tabla No. 3.3 se puede apreciar el cálculo y su resultado.

De este ensayo se concluye que la resistencia a la compresión de las muestras se encuentra dentro de los parámetros normales para el tipo de ladrillos de fabricación artesanal. Sin embargo, esta clase de ladrillos no es aconsejable para una construcción, debido a la variabilidad de sus propiedades, por causa de la falta de control de calidad en el proceso de fabricación. Pero la norma arguye que la resistencia a la compresión del lote es el promedio de ensayar como mínimo cinco ladrillos.

#### **3.1.1.4 Requisitos**

Con el objetivo de evaluar los requisitos para los ladrillos cerámicos utilizados en la presente investigación, se utilizó la norma INEN 297<sup>19</sup>, la cual los reglamenta.

---

<sup>19</sup> Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977). NORMA INEN 297 “LADRILLOS CERAMICOS, REQUISITOS”. Quito. INEN.

Los ladrillos utilizados, se clasificaron como Ladrillos **Macizos, Tipo C**. Esta clasificación representa al Ladrillo Fabricado a Mano, con pequeñas imperfecciones en sus caras exteriores, así como variaciones de ortogonalidad en sus aristas hasta de 5 mm.

Lo antes mencionado se cumplió a cabalidad, como lo demuestra el ensayo de variación dimensional.

En el caso de resistencia mínima a la compresión, se nota que los mampuestos en estudio obtienen valores menores a lo especificado en la norma que reglamenta parámetros mínimos para ladrillos utilizados en la construcción, sin embargo esto manifiesta la realidad en la elaboración de este tipo de elementos en el país, y la calidad de los mampuestos utilizados en la construcción ecuatoriana.

### **3.1.2 ENSAYOS SOBRE EL HORMIGÓN Y MORTERO**

#### **3.1.2.1 Ensayo de compresión del hormigón (determinación del $f'c$ )**

Para el control del hormigón utilizado en la viga de coronación (trasmisora de carga), se tomaron dos probetas, una de cada una de las paredes. La resistencia a la compresión a los 28 días fue de 210 kg/cm<sup>2</sup>.



**Fotografía 3.4:** Cilindro Standard para realizar el ensayo sobre el hormigón de las vigas superiores.



**Fotografía 3.5:** Ensayo de compresión de hormigón a los 28 días.

### 3.1.2.2 Ensayo de compresión del Mortero de Pega

Los morteros de pega deben cumplir con la norma ASTM C270<sup>20</sup>. Estos morteros deben tener buena plasticidad, consistencia y ser capaces de retener el agua mínima para la hidratación del cemento y además, garantizar su adherencia con las unidades de mampostería para desarrollar su acción cementante.<sup>8</sup>



**Fotografía 3.6:** Cubos de mortero de pega Standard para la prueba de compresión.

---

<sup>20</sup> American Standard Test Methods. (2007) Norma ASTM C 270 “Standard specification for mortar for unit masonry”. Estados Unidos. ASTM.



**Fotografía 3.7:** Medición del peso de los Cubos Standard de mortero de pega con ayuda de una balanza electrónica.

En la tabla No. 3.4 se puede apreciar el cálculo y su resultado de la resistencia a compresión del mortero de pega.



**Fotografía 3.8:** Ensayo de compresión del mortero de pega a los 28 días.

### 3.1.2.3 Ensayo de compresión del Mortero de Enchape



**Fotografía 3.9:** Cubos Standard de mortero de enchape para la prueba de compresión.



**Fotografía 3.10:** Ensayo de compresión del mortero de enchape los 28 días.

En la tabla No. 3.4 se puede apreciar el cálculo y su resultado de la resistencia a compresión del mortero de enchape.

### 3.2 CARGAS

Con el objetivo de simular de mejor manera el comportamiento de la mampostería durante el ensayo, se realizó un estudio de cargas a la cual estaría sujeta una pared de mampostería con un ancho de área colaborante de 6 m, en una edificación en la actualidad.

El gran porcentaje de estas edificaciones, principalmente en el centro histórico de la ciudad de Quito, son utilizadas como centros comerciales, por lo tanto, están expuestas a cargas vivas mayores que una vivienda común, que es el fin con el cual fueron construidas.

La carga viva utilizada en este análisis, es la propuesta por el *Código Ecuatoriano de la Construcción*, el cual recomienda utilizar en almacenes minoristas  $400 \text{ kg/m}^2$  como carga uniforme<sup>21</sup>.

El análisis de carga muerta, se basa en pesos específicos de los diferentes elementos constituyentes de la estructura. Se analizó una estructura de 2 pisos, con el entrepiso de duela sostenido por vigas de madera, la cubierta es tradicional de teja normal.

Peso de la unidades de mampostería =  $6.8 \text{ Kg}^*$

Peso de  $1 \text{ m}^3$  de mortero de pega =  $700 \text{ Kg/m}^3^*$

Cantidad de unidades por pared = 274 u

Peso total de las unidades de mampostería en la pared = 1863.2 kg

Cantidad de mortero de pega en la mampostería =  $0.65 \text{ m}^3$ .

Peso del mortero de pega en la pared de mampostería = 1143.4 kg

Peso total de la mampostería = 3006.6 kg.

---

<sup>21</sup> Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2001). CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN. (1<sup>ra</sup> ed.) Quito. INEN.

\* Pesos específicos obtenidos de mediciones realizadas sobre los ladrillos y cubos de mortero, utilizados durante la construcción de las paredes.

La mampostería superior para dejar una caída de  $45^{\circ}$  en la cubierta aumenta un 50 % en su tamaño y por tanto su peso también aumenta.

Peso de mampostería superior = 4510 kg.

Si se coloca entrepiso de madera sostenida por vigas cada 60 cm del mismo material tenemos lo siguiente dentro de un ancho colaborante de 6 m.

6 vigas de longitud 6 m y la sección de cada una de ellas es de 0.15x0.08 m, con un peso específico de la madera de  $0.95 \text{ t/m}^3$ .

Peso de las vigas = 410 kg.

Considerando un entrepiso de duela, en un área colaborante de 15.3 m cuyo espesor es de 1.5 cm y peso específico de  $0.95 \text{ t/m}^3$ , se tiene el peso total del piso.

Peso del piso de duela = 220 kg.

Peso total del entre-piso= 630 kg.

Casi la totalidad de las construcciones de mampostería tienen cubierta de teja, y siguiendo con la premisa de adoptar un ancho colaborante de 6 m, tenemos lo siguiente:

Peso del tumbado incluido vigas = 720 kg.

Peso de la teja de cubierta = 550 kg.

Peso Total de Cubierta = 1270 kg.

$$W_D = W_{\text{mamp}} + W_{\text{piso}} + W_{\text{cubierta}}$$



$$W_D = 4.5t + 0.63t + 1.27t = 6.4t.$$

$W_L =$  Área colaborante x carga viva distribuida.

$$W_L = 15.3m^2 \cdot 0.4t/m^2 = 6.12t.$$

$$W_{TOTAL} = W_D + W_L$$

$$W_{TOTAL} = 6.4t + 6.12t = 12.52t$$

### 3.3 PROCEDIMIENTO DE RECOPIACIÓN DE DATOS

Los datos a obtener directamente del ensayo son:

- Carga Lateral aplicada.
- Carga Vertical.
- Deformación Lateral.
- Deformación en los tensores antivolcamiento.

#### 3.3.1 CARGA LATERAL APLICADA

La aplicación de carga lateral se da mediante un gato hidráulico con capacidad de 100 t, empotrado en el muro del laboratorio por medio de una placa de reacción (fotografía 3.11), inmediatamente después de éste, se coloca la celda de carga con capacidad de 25 t, a continuación se coloca un vínculo articulado (oreja) de acero reforzado para finalmente unirse a la viga superior por medio de una placa de acero con cuatro orificios por donde pasan 4 varillas con diámetro 18 mm y 1.40 m de longitud, embebidas en la viga de solera, a las cuales les fue implementada una rosca adicional de 10 cm. Esta parte roscada de las varillas sobresalía de la cara exterior de la viga como se puede apreciar en la fotografía 3.12. A estas varillas roscadas mediante tuercas se acopla otra placa con una oreja de acero reforzado, que sirve como nexo de unión entre el dispositivo de aplicación de carga y la viga de solera transmisora de carga a la mampostería. Dichas varillas se aseguran debidamente con doble tuerca para que no haya

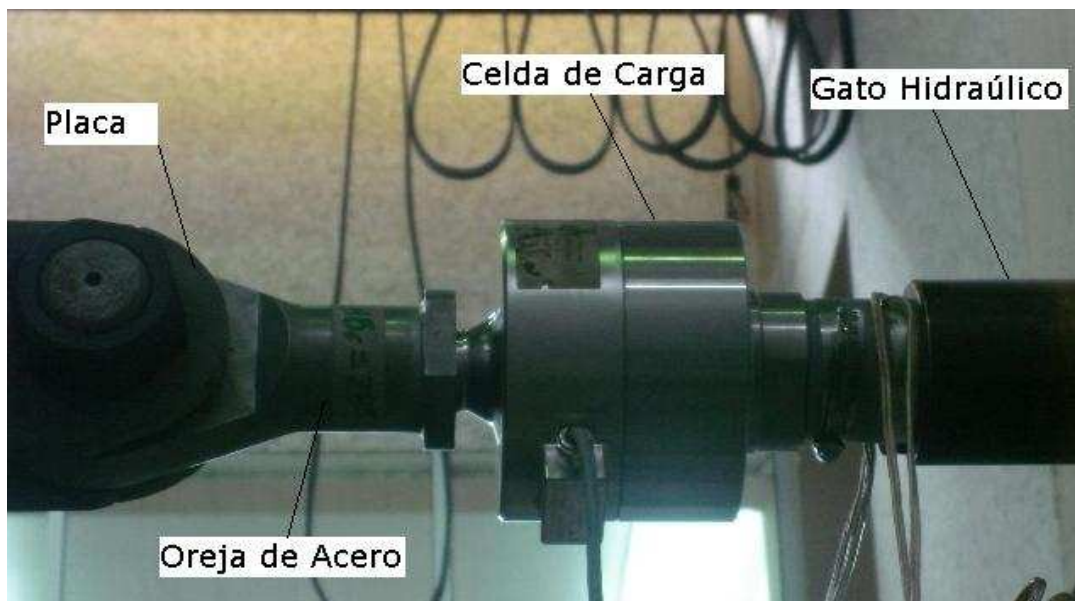
ninguna clase de deslizamiento al momento de realizar el ensayo. Se mantuvo un estricto cuidado en cuanto a la alineación del dispositivo de carga, ya que éste debía empatar con la pared a ser ensayada. En la fotografía No. 3.13 se puede apreciar el dispositivo de aplicación de carga lateral.



**Fotografía 3.11:** Placa de empotramiento del gato hidráulico



**Fotografía 3.12:** Placa de acero con 4 orificios colocada en la viga durante el proceso constructivo, se aprecia también las 4 varillas roscadas que sobresalen de la viga.

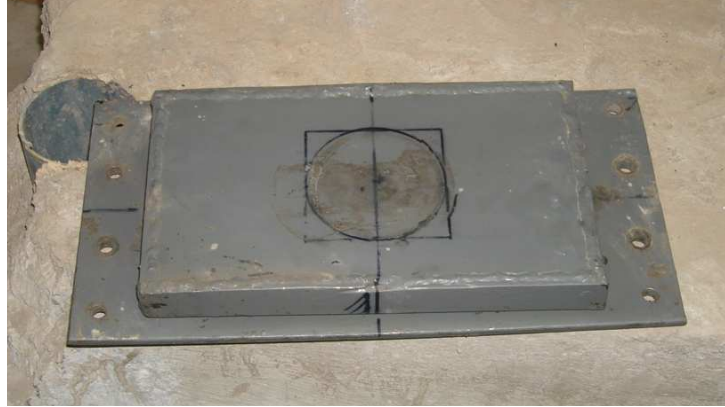


**Fotografía 3.13:** Dispositivo de aplicación de carga lateral (vista lateral).

Para la correcta transmisión de carga, se coloca una lámina de neopreno, para cubrir las irregularidades en la superficie de contacto del dispositivo de carga con la viga de la mampostería.

### 3.3.2 CARGA VERTICAL

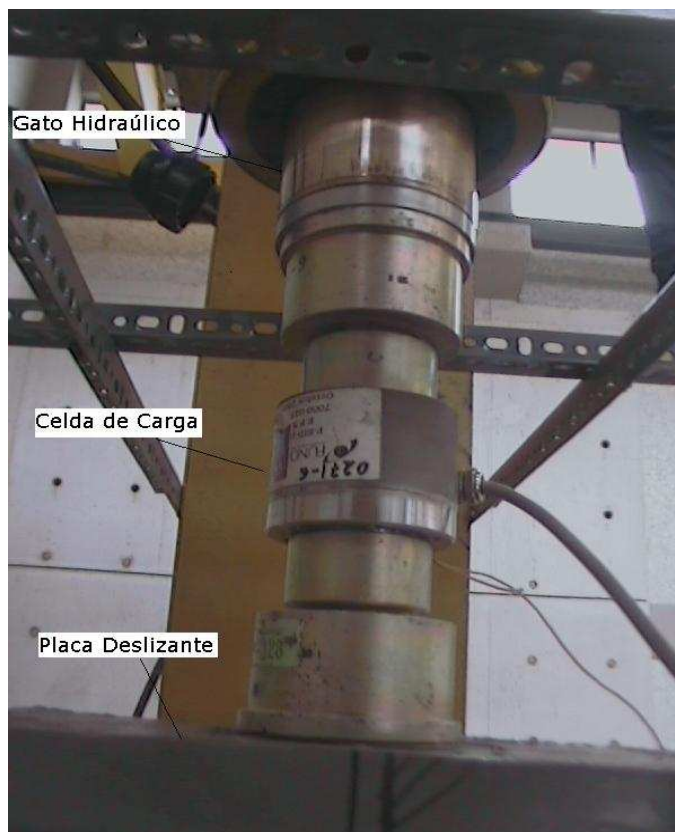
Para la aplicación de la carga vertical, se instala sobre la viga transmisora de carga una placa deslizante de acero construida por el personal del *Centro de Investigación de la Vivienda de la E.P.N*, (ver fotografía No. 3.14), sobre dicha placa se coloca una celda medidora de carga cuya capacidad es de 500 kN. Un gato hidráulico con capacidad de 50 t. proporciona la carga vertical necesaria para simular las cargas gravitatorias a las cuales estaría sometida la mampostería en una estructura. Este gato se apoya firmemente en el marco de carga, el cual está empotrado en la losa de reacción del laboratorio, lo que se puede apreciar en las fotografías No 3.15 y 3.16.



**Fotografía 3.14:** Placa deslizante ubicada sobre la viga, transmite la carga vertical.



**Fotografía 3.15:** Dispositivo de aplicación de carga vertical con sus elementos.

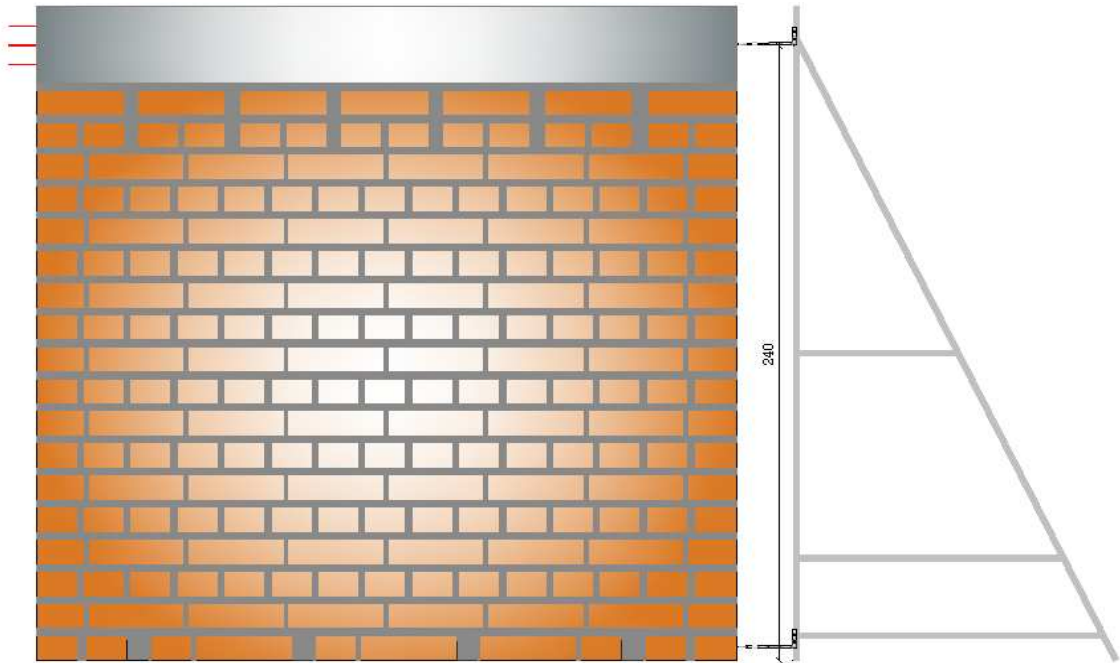


**Fotografía 3.16:** Dispositivo de aplicación de carga vertical, (Gato hidráulico, celda de carga y placa deslizante)

### 3.3.3 DEFORMACIÓN LATERAL

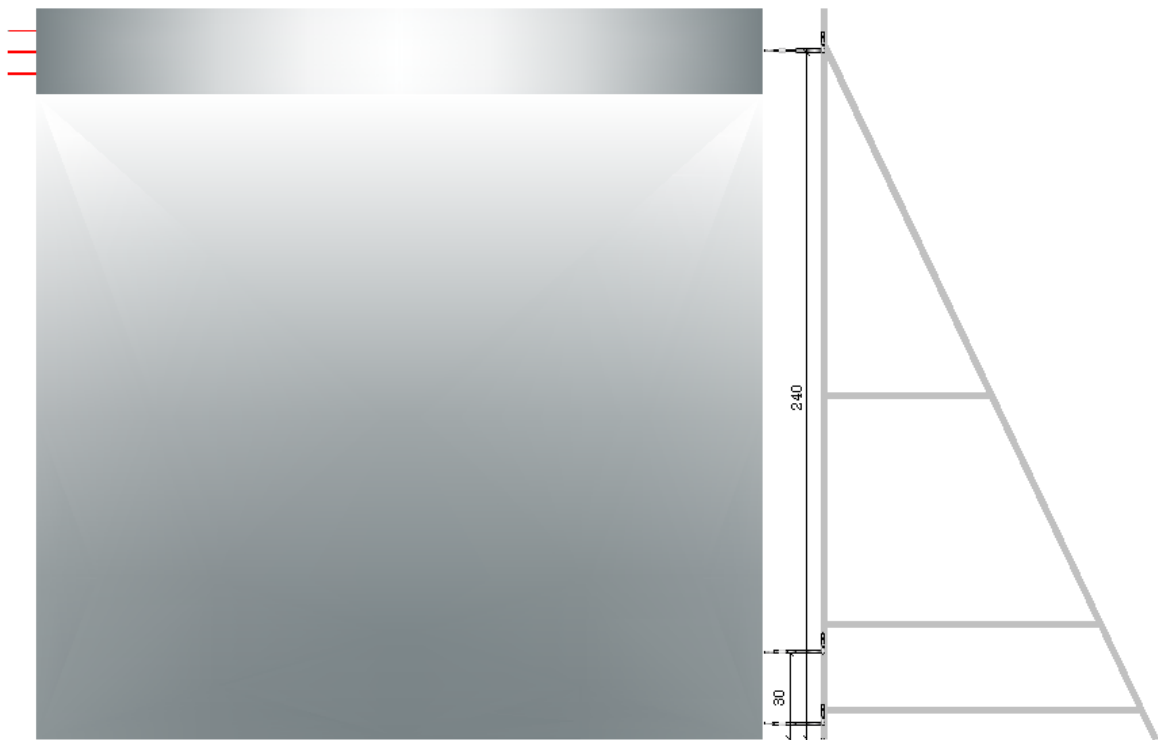
El eventual desplazamiento del conjunto, está controlado mediante dos LVDTs (*Traductores de Desplazamiento Lineal Variable*), los que muestran las lecturas de deformación en cada instante del ensayo.

La ubicación de estos LVDTs, fue configurada de tal forma de conocer la deformación y los deslizamientos laterales de la mampostería durante el ensayo. Se ubicaron dos LVDTs; el primero en la parte inferior de la mampostería con el fin de verificar el deslizamiento lateral al instante de aplicación de la carga; el segundo en la viga de solera, para medir la deformación lateral de la mampostería en la parte superior según aumenta la carga lateral aplicada y también medir las deformaciones permanentes después del ensayo.



**Figura 3.1:** Ubicación de LVDT's para pared no armada no confinada.

En los ensayos de mampostería agrietada reforzada y mampostería reforzada nueva, se coloca un LVDT extra a 30 cm. del suelo con el fin de medir la deformación en una zona donde no exista influencia de los apoyos antideslizantes.



**Figura 3.2:** Ubicación de LVDT's para mampostería agrietada reforzada y reforzada nueva.

### 3.3.4 DEFORMACIÓN EN LOS TENSORES ANTIVOLCAMIENTO

Se coloca strain gages, en cada uno de los sensores, con el objetivo de medir su deformación a cada instante de incremento de carga lateral. Conociendo su deformación fácilmente se puede conocer el esfuerzo al cual están sometidos.

Los datos son recogidos a través del UPM, el cual los envía a la computadora y son registrados cada segundo, así se obtiene la carga aplicada y las diferentes deformaciones a cada instante del ensayo.



Fotografía 3.17: UPM

La computadora recoge todos los datos del ensayo y forma una base de datos como archivo del programa Excel, formando la siguiente tabla:

**Tabla 3.1:** Hoja de recopilación de datos, presentada en la computadora durante la obtención de datos.

Time DEVICE1	Channel 4	Channel 5	Channel 6	Channel 7	Channel 8	Channel 9	Channel 10	Channel 11	Channel 12
s	kg	kg	mm	mm	mm	um/m	um/m	um/m	um/m

En la tabla anterior se muestra: en la celda #1 el tiempo transcurrido del ensayo, en las celdas nombradas como Channel 4 y 5 la carga vertical y lateral respectivamente, en las 6, 7, 8 se muestra la deformación en la viga superior, a 30 cm del suelo y en la parte inferior de la mampostería respectivamente, las

demás celdas muestran la deformación medida por los strain gages en cada tensor.

### **3.4 RESULTADOS**

En esta parte se muestra los resultados de algunos ensayos de los diferentes elementos de la mampostería.

#### **3.4.1 RESULTADOS DE VARIACIÓN DIMENSIONAL**

De la tabla 3.2 podemos concluir que no existe mayor variación en ninguna de las dimensiones de los mampuestos, a pesar de su origen artesanal.

A continuación se indica en porcentaje la mayor variación en cada una de las direcciones.

- Variación en el ancho = 3.46%
- Variación en altura = 6.69%
- Variación en el largo = 1.13%



**Tabla 3.2:** Variación Dimensional.

<b>Muestra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
<b>% Variación en el Ancho</b>											
<b>Ancho 1 (cm)</b>	14,8	14,2	15,3	14,8	14,7	15	14,2	14,3	14,8	14,7	
<b>Ancho 2 (cm)</b>	14,4	14,6	15,3	15,1	14,8	15	14,6	14,7	14,7	14,7	
<b>Ancho 3 (cm)</b>	14,7	14,6	15,2	14,8	14,8	15	14,9	14,7	14,8	14,5	
<b>Ancho Promedio (cm)</b>	14,63	14,47	15,27	14,90	14,77	15,00	14,57	14,57	14,77	14,63	
<b>Ancho Promedio Todas las Muestras</b>											14,76
<b>% Variación Ancho</b>	0,84%	1,97%	3,46%	0,97%	0,07%	1,65%	1,29%	1,29%	0,07%	0,84%	
<b>% Variación en Altura</b>											
<b>Altura 1 (cm)</b>	9,9	9,1	9,6	10	9,4	9,6	9,8	9,9	10,4	10	
<b>Altura 2 (cm)</b>	9,6	9,4	9,8	10,1	9,1	9,9	9,9	9,9	10,1	9,5	
<b>Altura 3 (cm)</b>	9,5	9,2	10,1	9,8	8,7	9,7	9,4	10,3	9,8	10	
<b>Altura Promedio (cm)</b>	9,67	9,23	9,83	9,97	9,07	9,73	9,70	10,03	10,10	9,83	
<b>Altura Promedio Todas las Muestras</b>											9,72
<b>% Variación Altura</b>	0,51%	4,97%	1,20%	2,57%	6,69%	0,17%	0,17%	3,26%	3,95%	1,20%	
<b>% Variación en el Largo</b>											
<b>Largo 1 (cm)</b>	34,2	34,8	34,5	34,5	35	34,8	34,6	34,9	34	34,1	
<b>Largo 2 (cm)</b>	34,3	34,4	34,2	34,4	34,6	34,9	34,9	34,7	34	34	
<b>Largo 3 (cm)</b>	34,4	34,8	34,4	34,1	34,5	35	35,1	34,9	34,3	34	
<b>Largo Promedio (cm)</b>	34,30	34,67	34,37	34,33	34,70	34,90	34,87	34,83	34,10	34,03	
<b>Largo Promedio Todas las Muestras</b>											34,51
<b>% Variación Largo</b>	0,61%	0,45%	0,42%	0,51%	0,55%	1,13%	1,03%	0,94%	1,19%	1,38%	

**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

### 3.4.2 RESULTADOS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Después de haber ensayado diez muestras, siguiendo el procedimiento indicado en la Norma INEN 294<sup>22</sup>, se concluye que la resistencia a la compresión de los mampuestos utilizados, a pesar de su procedencia artesanal está dentro de los rangos normales para ladrillos de este tipo en nuestro medio.

La resistencia característica obtenida es de  $19.16 \text{ kg/cm}^2$ , en la tabla siguiente se muestra los resultados de este ensayo:

---

<sup>22</sup> Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977). NORMA INEN 294 “LADRILLOS CERAMICOS DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION”. Quito. INEN.

**Tabla 3.3:** Resistencia a la Compresión.

<b>Muestra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>Promedio</b>
<b>Ancho Promedio</b>	14,63	14,47	15,27	14,90	14,77	15,00	14,57	14,57	14,77	14,63	
<b>Altura Promedio</b>	9,67	9,23	9,83	9,97	9,07	9,73	9,70	10,03	10,10	9,83	
<b>Largo Promedio</b>	17,15	17,33	17,18	17,17	17,35	17,45	17,43	17,42	17,05	17,02	
<b>Peso Seco (kg)</b>	3,26	3,21	3,43	3,45	3,05	3,49	3,40	3,59	3,66	3,42	
<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	250,96	250,76	262,33	255,78	256,20	261,75	253,95	253,70	251,77	249,01	
<b>Carga de Ruptura (kg)</b>	4800	3800	5200	5400	4300	5000	5400	5100	5200	4600	
<b>Resistencia Compresión (Mpa)</b>	1,88	1,49	1,94	2,07	1,65	1,87	2,08	1,97	2,02	1,81	1,88
<b>Resistencia Compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	19,13	15,15	19,82	21,11	16,78	19,10	21,26	20,10	20,65	18,47	19,16

**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

### 3.4.3 RESULTADOS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO DE PEGA

Los ensayos del mortero de pega fueron realizados 28 días después de la toma de muestras; de estos ensayos se puede concluir que el mortero presenta baja resistencia a la compresión. El *Código Ecuatoriano de la Construcción* estipula que para morteros con proporción 1: 3 la resistencia mínima es de 15 Mpa, pero uno de los objetivos de la presente investigación es simular las condiciones reales de la práctica en la construcción de mampostería, es así que la resistencia característica o  $f_{cp}$  del mortero de pega determinada es de 12.28 Mpa.

A continuación se muestra los datos obtenidos del este ensayo.

**Tabla 3.4:** Resistencia a la Compresión del Mortero de Pega.

Muestra	1	2	3
Arista 1	5,1	5,1	5,08
Arista 2	5,06	5,1	5,14
Arista 3	5,04	5,14	5,04
Arista Promedio	5,07	5,11	5,09
Peso Seco (kg)	0,22	0,24	0,23
Área (cm <sup>2</sup> )	25,70	26,21	25,60
Carga de Ruptura (kg)	3100	2900	3700
Resistencia Compresión (Mpa)	11,824	10,846	14,168
Resistencia Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	120,6	110,63	144,51
Resistencia Promedio (Mpa)	12,28		

**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

### 3.4.4 RESULTADOS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO DE ENCHAPE

De la misma manera que el mortero de pega, se ensayaron las probetas a la edad de 28 días, los resultados obtenidos muestran que este mortero, presenta una

resistencia de 13.72 Mpa, por ser mortero de enchape no está estipulada una resistencia mínima dentro del *Código Ecuatoriano de la Construcción*.

**Tabla 3.5:** Resistencia a la Compresión del Mortero de Enchape.

<b>Muestra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Arista 1</b>	5,10	5,03	5,08	5,10	5,11
<b>Arista 2</b>	5,12	5,10	5,11	5,09	5,11
<b>Arista 3</b>	5,04	5,05	5,18	5,20	5,12
<b>Arista Promedio</b>	5,09	5,06	5,12	5,13	5,11
<b>Peso Seco (kg)</b>	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23
<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	25,70	25,40	26,31	26,52	26,16
<b>Carga de Ruptura (kg)</b>	3300	3700	4100	3100	4000
<b>Resistencia Compresión (Mpa)</b>	12,59	14,28	15,28	11,46	14,99
<b>Resistencia Compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	128,38	145,66	155,81	116,89	152,89
<b>Resistencia Promedio (Mpa)</b>	<b>13,72</b>				

**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

### **3.5 ANÁLISIS TEÓRICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA**

Con los datos obtenidos de la resistencia de las unidades de mampostería y del mortero, es posible predecir la resistencia de la mampostería, basados en diferentes códigos, normas e investigaciones realizadas anteriormente, ya que la mampostería y en especial la no reforzada, no cuenta con una teoría firme sobre su comportamiento y ha sido poco investigada en nuestro medio.

### 3.5.1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA ( $f'm$ )

“Cuando  $f'm$  no se seleccione mediante muretes preliminares o históricos, su valor puede determinarse en base a una correlación apropiada de calidad de los materiales”<sup>23</sup>

El cálculo del  $f'm$  se realiza basado en la fórmula de Hendry.<sup>24</sup>

$$f'm = C_m \varphi (C_f f'_{cu})^{0.75} (f'_{cr})^{0.25} \quad (3.1)$$

En donde:

$C_m$  = Es un factor que depende de la continuidad de la mampostería.

$C_m = 0.45$  para mampostería continua.

$\varphi$  = Es un factor que permite resistencias bajas de mampostería, siendo igual a 1 en la mayoría de los casos.

$C_f$  = Es factor de forma, siendo igual a 1 para unidades macizas.

$f'_{cu}$  = Resistencia especificada a la compresión de la unidad de mampostería.

$f'_{cr}$  = Resistencia especificada a la compresión del mortero de pega.

Al realizar el cálculo de  $f'm$  mediante la ecuación 3.1 se tiene lo siguiente:

$$f'm = 0.45 * 1 (1 * 1.88)^{0.75} (12.28)^{0.25}$$

$$f'm = 1.36 N / mm^2$$

<sup>23</sup> Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (1998), NORMAS COLOMBIANAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE, NSR-98, Tomo 1, Colombia, AIS.

<sup>24</sup> Hendry, A.W. (1990). Structural Masonry. Macmillan Education Ltd. London.

$$f'm = 13.79 \text{ kg/cm}^2$$

### 3.5.2 DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ( $E_m$ ), EL MÓDULO DE CORTE ( $G_m$ ) Y DE LA RIGIDEZ A CORTANTE ( $K_m$ ) DE LA MAMPOSTERÍA

En base a la resistencia a la compresión de la mampostería, se puede determinar su módulo de elasticidad ( $E_m$ ), el módulo de cortante ( $G_m$ ), y la rigidez a cortante ( $K_m$ ) de la mampostería. Utilizando las siguientes expresiones, presentadas en el *NSR-98 Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente*.

$$E_m = 500 f'm \leq 10000 \text{ Mpa} \quad (3.2)$$

$$G_m = 0.4 E_m \quad (3.3)$$

$$K_m = \frac{12 E_m I}{L^3} \quad (3.4)$$

$$I = \frac{bl^3}{12} \quad (3.5)$$

De lo antes indicado se tiene lo siguiente:

$$E_m = 675 \text{ Mpa}$$

$$G_m = 270 \text{ Mpa}$$

$$I = \frac{36 \times 225^3}{12} = 34171875 \text{ cm}^4$$

$$K_m = \frac{12 \times 6750 \times 34171875}{255^3} = 166929,6 \text{ kg/cm}$$

### 3.5.3 DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ( $E_r$ ), EL MÓDULO DE CORTE ( $G_r$ ) Y DE LA RIGIDEZ A CORTANTE ( $K_r$ ) DEL MORTERO DE PEGA

De la misma manera mediante la resistencia a la compresión del mortero de pega obtenida mediante ensayos de laboratorio (12.28 MPa), se puede determinar su módulo de elasticidad ( $E_r$ ) y el módulo de cortante ( $G_r$ ), según lo expresa el *NSR-98 Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente*:

$$E_r = 4000\sqrt{f'_{cr}} \leq 20000 \text{MPa} \quad (3.6)$$

$$G_r = 0.4E_r \quad (3.7)$$

$$K_m = \frac{12E_r I}{L^3} \quad (3.8)$$

Utilizando las ecuaciones anteriores:

$$E_r = 14017.13 \text{MPa}$$

$$G_m = 7008.5 \text{Mpa}$$

$$I = \frac{6 \times 255^3}{12} = 8290687,5 \text{cm}^4$$

$$K_r = \frac{12 \times 14017.13 \times 8290687,5}{255^3} = 841026 \text{kg/cm}$$



### 3.5.4 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A CORTE DE LA MAMPOSTERÍA ( $V_m$ )

Empleando la NORMA E-070 ALBAÑILERÍA según LA RESOLUCIÓN MINISTERIAL No 011-2006-VIVIENDA<sup>25</sup>, del Perú, en donde se calcula la resistencia al agrietamiento diagonal de la mampostería incluyendo los efectos producidos por la carga axial vertical.

$$V_m = 0.5v_e \alpha t L + 0.23P \quad (3.9)$$

En donde:

$v_e$  = Resistencia característica a corte de la albañilería, que según la misma norma se calcula:

$$v_e = \sqrt{f'_m} \text{ (kg / cm}^2\text{)} \quad (3.10)$$

$P_g$  = Carga gravitacional de servicio, con sobrecarga.

$t$  = Espesor efectivo del muro, es el espesor del muro sin revestimientos (36cm).

$L$  = Longitud total del muro (incluyendo a las columnas en el caso de muros confinados)

$\alpha$  = factor de reducción de resistencia al corte por efectos de esbeltez, está

en función de:

$$\frac{1}{3} \leq \alpha = \frac{V_e L}{M_e} \leq 1 \quad (3.11)$$

---

<sup>25</sup> Resolución Ministerial N° 011-2006-Vivienda. (2006). Norma Técnica E.070 Albañilería. Lima.

En la que  $V_e$  y  $M_e$  son el cortante y el momento flector obtenido del análisis elástico, por tanto para nuestra investigación se toma el mayor valor es decir  $\alpha = 1$

Por lo tanto:

$$v_e = \sqrt{13.79} = 3.71 \text{ kg/cm}^2$$

Entonces:

$$V_m = 0.5 \times 3.71 \times 1 \times 36 \times 255 + 0.23 \times 7000 = 18638.9 \text{ kg}$$

$$V_m = 17028,9 + 1610 = 18638.9 \text{ kg}$$

$V_m$  es la resistencia a corte de la mampostería cuando se aplica una carga axial vertical de 7 t., que es resultado del análisis de cargas de una edificación tipo, tomada para la realización de esta investigación.

Por motivos comparativos se realiza el mismo cálculo de cortante  $V_m$ , pero mediante la expresión presentada en la *Propuesta de Código* como parte del *Código Ecuatoriano de la Construcción (subcapítulo de la Construcción con Mampostería Estructural)*. La misma expresión es utilizada por el *NSR-98 Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente*.

$$V_m = 0.2 A_{mv} \sqrt{f'_m} \quad (3.12)$$

En donde:

$V_m$  = cortante nominal resistido por la mampostería en N.

$A_{mv}$  = área efectiva para determinar esfuerzos cortantes en  $\text{mm}^2$ , cuando la dirección de las fuerzas horizontales es paralela al plano del muro, e induce esfuerzos cortantes en esa dirección el área efectiva es igual al área neta.

$f'_m$  = resistencia a la compresión de la mampostería en MPa.

$$V_m = 0.2(360 * 2550)\sqrt{1.35}$$

$$V_m = 213323.9N$$

Si 1N = 0.1019716 kg.

Entonces:

$$V_m = 21752.98kg = 21.752t$$

La diferencia de los resultados entre la *Norma E-70 Albañilería* del Perú y el *NSR-98* de Colombia, es de 3.1 t. Para los fines de la investigación se toma el valor mayor de  $V_m$  el cual está sujeto a comprobación dentro de la experimentación.

### **3.5.5 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A CORTE DEL ENCHAPE DE REFUERZO ( $V_n$ )**

Para esto se considera las dos capas del enchape de refuerzo ubicadas a cada lado de la mampostería como un diafragma, en tal virtud se aplica la ecuación dada por el *Código ACI 318S – 05 (Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural) y Comentario*<sup>26</sup>.

$$V_n = A_c v (\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \quad (3.13)$$

En donde:

$V_n$  = Resistencia al corte.

---

<sup>26</sup> American Concrete Institute, (2005). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentarios. (1<sup>ra</sup> ed julio 2005). Florida. ACI

$A_{cv}$  = Área bruta de la sección de mortero limitada por el espesor del alma y la longitud de la sección en dirección de la fuerza de cortante considerada.

$\alpha_c$  = Coeficiente que define la contribución relativa de la resistencia del concreto a la resistencia nominal del muro del concreto, depende de la relación  $(h/l)$ .

$$\left(\frac{h}{l}\right) = \frac{2.40m}{2.55m} = 0.94$$

Para  $(h/l) \leq 1.5 \Rightarrow \alpha_c = 0.8$

$\rho_t$  = Cuantía del refuerzo transversal distribuido al área bruta de concreto de una sección perpendicular a este refuerzo.

$f_y$  = Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo.

$$A_{cv} = e_r l$$

$e_r$  = Espesor del enchape de refuerzo.

$l$  = Longitud la mampostería.

$$\rho_t = \frac{A_s}{A_{ch}}$$

$A_s$  = sección de acero perpendicular a la sección que resiste el cortante.

$A_{ch}$  = Área de sección transversal de la mampostería.

Cálculo:

$$A_{cv} = 6cm \times 255cm = 1530cm^2$$

$$\rho_t = \frac{6.67cm^2}{6cm \times 240cm} = 0.0046$$

$$V_n = 1530(0.8\sqrt{137.2} + 0.0046 \times 4200)$$

$$V_n = 43896 \text{ kg}$$

Para la mampostería reforzada nueva, se toma como valor nominal de corte la suma de las resistencias de la mampostería sin reforzamiento ( $V_m$ ) y del enchape de refuerzo.

$$V_{mn} = V_m + V_n \quad (3.16)$$

Donde:

$V_{mn}$  = Cortante nominal de la mampostería reforzada nueva.

$V_m$  = Corte nominal de la mampostería sin reforzamiento.

$V_n$  = Corte nominal del enchape de refuerzo.

$$V_{mn} = 21.75 + 43.89$$

$$V_{mn} = 65.64 \text{ Ton}$$

**Nota:** Se toma el valor de  $V_m$ . calculado por el método del *NSR-98* (Colombia), por ser el valor mayor comparado con el calculado por el método de la *Norma E-70 Albañilería* (Perú).

## **3.6 COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA**

### **3.6.1 COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA SOMETIDA A ESFUERZOS CORTANTES**

Al analizar el efecto producido por cargas laterales en la mampostería, es preciso determinar adecuadamente la resistencia a cortante. Generalmente los esfuerzos cortantes se presentan combinados con esfuerzos de compresión, producidos por cargas gravitatorias. Por lo tanto, la resistencia a cortante se investiga considerando el efecto de los esfuerzos de compresión en dirección normal a las juntas horizontales.

Según varios investigadores como; Paulay y Priestley<sup>27</sup> en 1992 y Hendry en 1990, etc., la resistencia a cortante de las juntas de mortero se ven incrementadas al aplicar compresión a la mampostería. Esto se puede explicar, dado que la resistencia a cortante depende de dos factores, 1) la adherencia y 2) la resistencia a la fricción entre mortero – mampuestos.

Algunos factores que influyen en la adherencia entre las unidades de mampostería y mortero de pega son: en los ladrillos, afecta la porosidad, la tasa inicial de absorción de agua, la rugosidad de la superficie, el contenido de humedad y la actividad química; por otro lado en el mortero afecta las características de la arena, la reacción limo cemento, la capacidad de retención de agua, el contenido de humedad y la presencia de aditivos.

Si bien es cierto es muy difícil cuantificar la influencia de cada uno de los factores antes mencionados en el desarrollo de las propiedades de adherencia, se conoce que las principales características incidentes son, el contenido de agua y la presencia de limos en la mezcla del mortero.

---

<sup>27</sup> Paulay, T., y Priestley M., (1992), Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. Edited by Jhon Wiley Sons. INC.

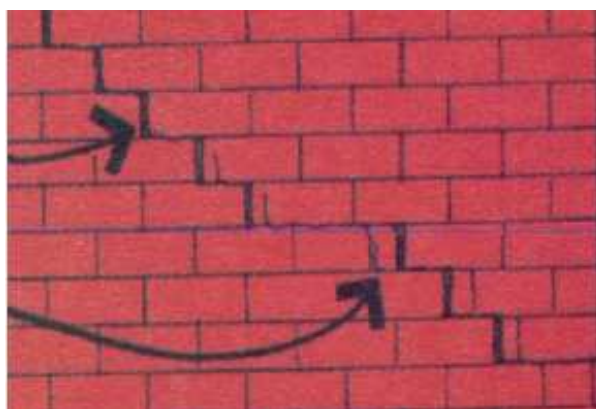
Los modos de fallo resultan a partir de una combinación de grietas que atraviesan las unidades de mampostería, debido a la tensión diagonal y las grietas a lo largo de las interfaces mortero-mampuestos. Además pueden ocurrir varios tipos de fallos dependiendo de la magnitud de los esfuerzos normales y de los esfuerzos cortantes. De ahí que se considera tres tipos de falla:

- Fricción-cortante.
- Tensión diagonal.
- Compresión.

#### 3.6.1.1 Falla a fricción-cortante:

Este tipo de falla ocurre cuando existen esfuerzos normales o de compresión de baja magnitud, y se produce cuando la unión en la interfase mortero-mampuestos es débil, dando lugar a la formación de grietas en dichas juntas.

**Figura 3.3:** Falla por fricción-cortante en muros de mampostería.

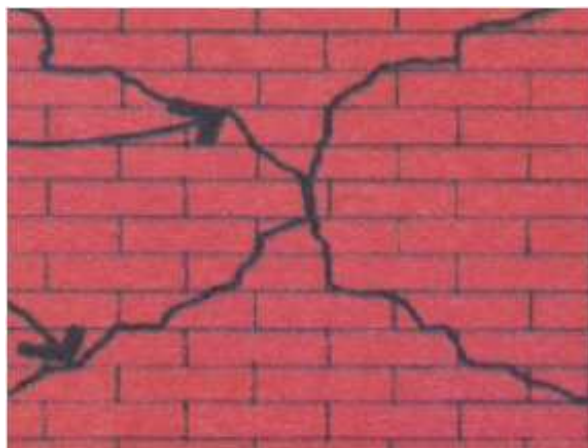


**FUENTE:** "MANUAL DE CONSTRUCCIÓN, EVALUACIÓN Y REHABILATACIÓN SISMO RESISTENTE DE VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA", Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2001)

### 3.6.1.2 Falla por tensión diagonal:

Se produce directamente sobre las unidades de mampostería, en casos en donde los esfuerzos de compresión son moderados. La resistencia a cortante de las juntas aumenta como resultado de dichos esfuerzos. Por lo tanto las grietas se producen como respuesta a los esfuerzos de tracción, inducido por el estado combinado de cortante y compresión presente. La orientación de la grieta de falla dependerá de la dirección de los esfuerzos principales en el panel o pared.

**Figura 3.4:** Falla por tensión diagonal en muros de mampostería.



**FUENTE:** “MANUAL DE CONSTRUCCIÓN, EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN SISMO RESISTENTE DE VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA”, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2001)

### 3.6.1.3 Falla a compresión:

Se da cuando los esfuerzos normales o de compresión son elevados, mayores que los esfuerzos por corte, por lo que la falla es bastante similar a la producida por la compresión directa, aunque la presencia de esfuerzos cortantes, reduce la resistencia a la compresión de la mampostería. Las grietas se producen debido a las deformaciones verticales de los mampuestos, y se incrementan por causa de las deformaciones del mortero en las juntas desarrollándose verticalmente y atravesando las unidades de mampostería.



**Figura 3.5:** Falla por compresión en muros de mampostería.



**FUENTE:** "MANUAL DE CONSTRUCCIÓN, EVALUACIÓN Y REHABILATACIÓN SISMO RESISTENTE DE VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA", Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2001)

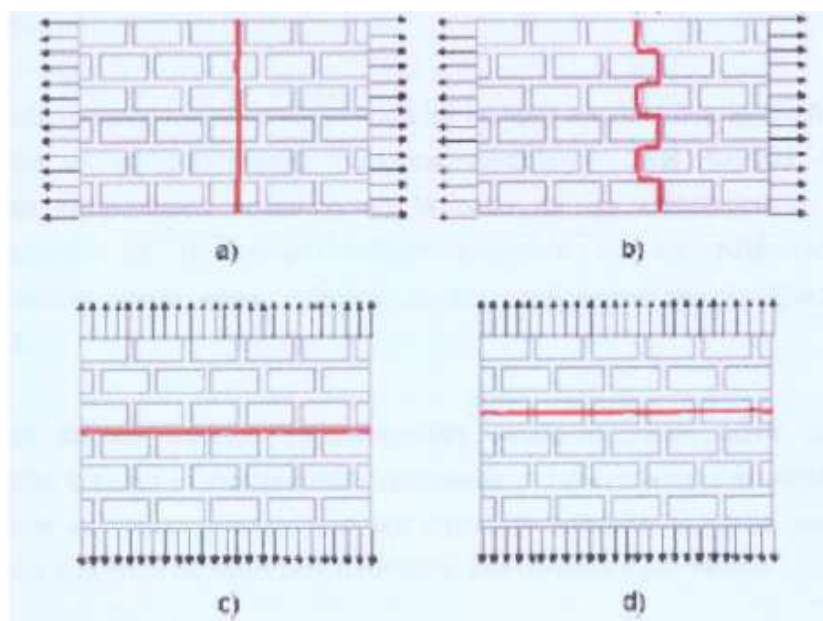
### **3.6.2. COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA SOMETIDA A ESFUERZOS DE TRACCIÓN.**

La resistencia a tracción en la mampostería depende principalmente de la adherencia existente entre el mortero de pega y cada ladrillo o mampuesto.

El tipo de falla que se desarrolle en la mampostería, dependerá de varios factores como: la dirección de la carga de tracción, la adherencia que desarrolle entre el mortero y cada uno de los mampuestos, así como también de la resistencia a la tracción de cada uno de estos elementos.

Los esfuerzos por tensión pueden presentarse tanto perpendicularmente a las juntas como paralelo a estas, por lo tanto el comportamiento de la mampostería es diferente para cada caso, ocasionando fallas horizontales y verticales respectivamente, como se indica en la figura a continuación:

**Figura 3.6:** Fallas de la mampostería por tensión.



**FUENTE:** Bonett Díaz, R. "Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada" España, Tesis Universidad Politécnica de Cataluña.

### 3.6.3 COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA SOMETIDA A ESFUERZOS DE FLEXO-COMPRESIÓN Y DE CORTANTE

Dentro de una edificación, la mampostería está sujeta al efecto de varios tipos de esfuerzos, como son; de compresión, cortante y flexión, los cuales se presentan bajo la acción de cargas laterales y gravitacionales o de compresión, lo que hace que su análisis sea complejo.

La mampostería al tratarse de un elemento frágil, tiende a limitar su resistencia hasta los esfuerzos admisibles, por lo que se utiliza para su diseño el método de esfuerzos admisibles, ya que han sido escasas las investigaciones dentro de su comportamiento inelástico, y de su resistencia a cortante y flexión.

*“Los coeficientes de ductilidad, dados en los códigos, constituyen una muestra clara de la no consideración de un comportamiento inelástico de las edificaciones de éste tipo, ya que dichos coeficientes sugeridos son de 1 o 2 para edificios de*

*mampostería, mientras para una edificación de hormigón armado puede tener valores de 8 o hasta 10*<sup>28</sup>

Se considera que como resultado de movimientos sísmicos, en la mampostería se producen dos tipos de fallas principalmente: por cortante y por flexión.

### **3.6.3.1 Falla por cortante:**

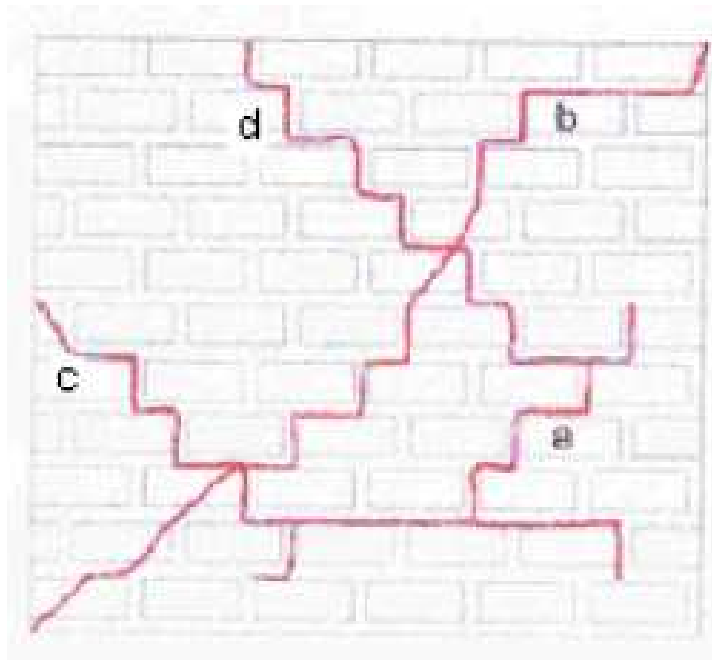
*“Este tipo de falla se presenta en muros donde la relación altura/longitud es menor que 3”<sup>29</sup>, y que están expuestos a una gran carga pre-compresiva. Generalmente, primero aparece una grieta diagonal - longitudinal aproximadamente al alcanzar el 62% de la carga máxima y posteriormente aparece una segunda grieta diagonal, característica de la falla por cortante, cuando se alcanza el valor máximo de la carga lateral aplicada (Ver Figura 3.7 a y b). Dichas grietas se presentan con similares características pero con sentido contrario al aplicar carga lateral con dirección opuesta a la aplicada en el primer caso (Ver Figura 3.7 c y d).*

---

<sup>28</sup> Bonett R., (2003), Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada. Tesis UPC, España.

<sup>29</sup> Rivas J., (2006), Análisis de relación de aspecto de muros estructurales. Tesis, EPN

**Figura 3.7:** Fallas de la mampostería por cortante.



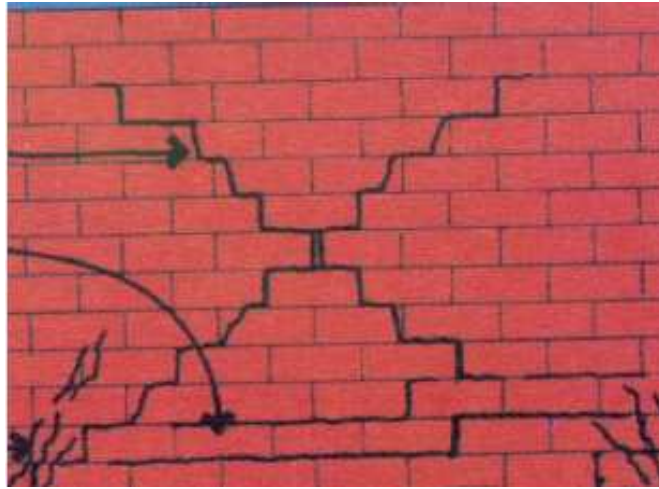
**FUENTE:** Bonett Díaz, R. "Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada" España, Tesis Universidad Politécnica de Cataluña.

### 3.6.3.2 Falla por flexión:

Este tipo de falla se nota por la aparición de grietas horizontales cerca a la base del muro, con la longitud de aproximadamente  $2/3$  de la longitud total del mismo. Se puede presentar el caso de la aparición de las mismas grietas en otro sentido al momento de cambiar la dirección de la carga.

Cabe indicar que mientras mayor sea la carga vertical aplicada mayor será la resistencia a la flexión, dado que se encuentra relacionada con las cargas verticales actuantes.

**Figura 3.8:** Fallas de mampostería estructural por flexión.



**FUENTE:** "MANUAL DE CONSTRUCCIÓN, EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN SISMO RESISTENTE DE VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA", Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2001)

## CAPÍTULO IV

### CONSTRUCCIÓN DE PAREDES

**Mampostería simple.** Es el tipo de mampostería estructural sin refuerzo. Los esfuerzos dominantes son de compresión los cuales deben contrarrestar los esfuerzos de tensión producidos por las fuerzas horizontales. *La NSR-98* y el *Código Ecuatoriano de la Construcción* las prohíbe explícitamente para las zonas de amenaza sísmica alta e intermedia. Por esta condición ya no se usan en nuestro medio<sup>30</sup> Razón por la cual es necesaria la rehabilitación de muchas estructuras existentes a nivel nacional.

#### 4.1 CONSTRUCCIÓN DE MAMPOSTERÍA

El proceso de construcción de las paredes inició con el timbrado del suelo del laboratorio con la proyección perpendicular del eje de referencia.

El siguiente paso fue la ubicación de los apoyos tipo “T” de acero estructural  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$  y  $e = 5.2 \text{ mm}$ , los cuales evitan el deslizamiento de las paredes. Estos apoyos además cuentan con un tensor (varilla liza  $\phi = 12\text{mm}$  y  $f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ ), estos tensores poseen un roscado a cada extremo, lo que permite su sujeción o empotramiento en la viga de reacción del laboratorio.

---

<sup>30</sup> Jaramillo José O., (2005), Mampostería Estructural. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, (UNC).

<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080020/Lecciones/Capitulo%203/MAMPOSTERIA%20ESTRUCTURAL.htm>



**Fotografía 4.1:** Ubicación de los apoyos antideslizantes en la losa de reacción.

Una vez colocados y alineados estos apoyos, se procede a colocar material aislante (papel periódico) entre el mortero de pega y la losa de reacción del laboratorio, con la finalidad de facilitar el desmontaje de las paredes una vez terminada la investigación.

La primera fila se hace sobre un replantillo de 3cm, y la ubicación y dirección de las unidades (traba) de esta fila se ve condicionada a la ubicación de los apoyos, como se aprecia en la siguiente fotografía.



**Fotografía 4.2:** Disposición de los ladrillos en la primera hilada de la pared.

Luego se determina el tipo de traba con la cual se levantará cada hilada, una fila con la posición de los mampuestos como se ve en la fotografía No. 4.3, y la siguiente fila con la posición de mampuestos como se muestra en la siguiente fotografía, (ver fotografía No. 4.4), cada una de estas filas se van intercalando una

tras otra para así obtener el tipo de traba la cual en la literatura técnica se conoce como traba tipo inglés<sup>31</sup>.



**Fotografía 4.3:** Disposición de ladrillos en la segunda hilada de la pared.



**Fotografía 4.4:** Disposición de ladrillos en la tercera hilada de la pared.

Las dimensiones de cada una de las paredes son 255x225x36 cm., contando con la viga superior o de solera. Cabe indicar que el ancho de las paredes está condicionado a las medidas de los ladrillos (34.5x14.7x9.7 cm) y al tipo de traba

---

<sup>31</sup> Gallegos, H, (1991), Albañilería Estructural, Segunda Edición, Lima, Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.



utilizado. Es así que la unión en la parte central de la hilada es 4 cm. como se indica en la fotografía No. 4.5



**Fotografía 4.5:** Vista lateral de una hilada concluida

Para la elaboración del mortero de pega, se tomó una relación de 1:3 medida en volumen, ya que esta es la dosificación más usada en nuestro medio, y la cantidad de agua agregada es la que permita la mejor trabajabilidad para el maestro albañil. La decisión de emplear este criterio para la elaboración del mortero, es tratar de simular de mejor forma la construcción de este tipo de mampostería, ya que en excepcionales casos la construcción de este tipo de elementos tiene dirección técnica en la actualidad y peor aún en tiempos pasados. Posteriormente se analizarán los resultados de probetas de mortero de pega obtenidas.



**Fotografía 4.6:** Probetas de mortero de pega.

Una vez levantada la pared hasta una altura de 2.05 m se procede a dejar aberturas de 5 cm. de ancho en las dos últimas filas de ladrillo cada 30 cm. Como se observa en la fotografía No 4.7. Dichas aberturas tienen la finalidad de que en ellas se cuele el hormigón de fundición de la viga superior para así construir una viga dentada, la cual será mucho más resistente al deslizamiento al realizar el ensayo, estos dientes además cuentan con acero de refuerzo  $\Phi = 14$  mm.



**Fotografía 4.7:** Paredes de mampostería previo a la fundición de la viga superior.



**Fotografía 4.8:** Refuerzo en los dientes de la viga superior  $\phi = 14$  mm.

Luego de haber construido las dos paredes de manera simultánea se procede al encofrado y armado de las vigas superiores las cuales transmiten la carga durante el ensayo.

El armado de las vigas superiores de 35x30 cm consistió en 4 varillas longitudinales de  $\phi$  14mm y estribos de  $\phi$  10mm separados a cada 15cm.



**Fotografía 4.9:** Detalle del armado de la viga superior.

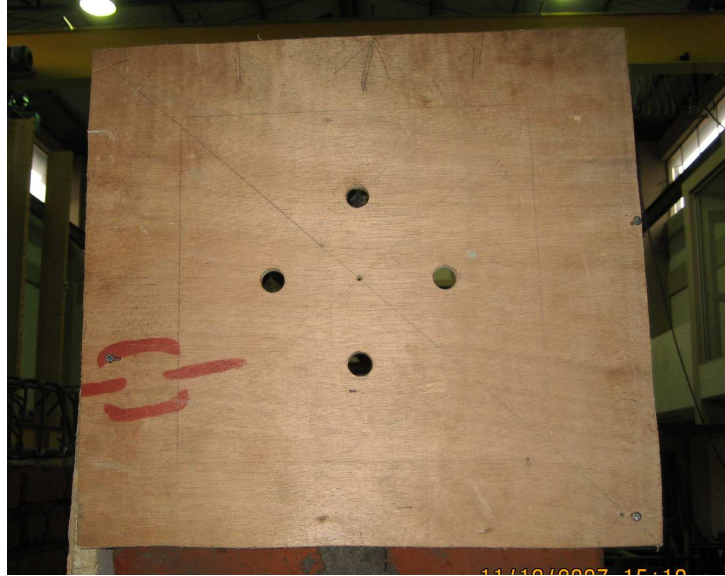


**Fotografía 4.10:** Detalle del encofrado de la viga superior.

Para poder unir el dispositivo de carga a la pared se colocó adicional al armado de la viga, 4 varillas de  $\phi$  18mm de 150 cm de longitud (por longitud de desarrollo) roscadas, este procedimiento redujo el diámetro de estas varillas hasta 16mm, en una longitud de 6 cm. Luego se empernó la placa del dispositivo de carga a la viga de solera por medio de dichas varillas roscadas. Para la colocación correcta se realizó un encofrado especial como se indica en la fotografía a continuación:



**Fotografía 4.11:** Construcción de paneles de madera para el encofrado de la viga, con 4 agujeros para las varillas  $\phi = 18$  mm que irán conectadas al dispositivo transmisor de carga.



**Fotografía 4.12:** Paneles de madera del encofrado colocado y alineado para la transmisión de carga.



**Fotografía 4.13:** Vista lateral de las varillas transmisoras de carga.

Para la sujeción de las varillas roscadas se colocaron dos estribos guías a 70 cm y 140 cm en los cuales se amarraron las varillas con alambre galvanizado.

Se realizó el encofrado de la vigas superiores tomando en cuenta el eje de referencia de aplicación de la carga, ya que el mínimo error podría producir una

excentricidad. Luego se procedió a fundir el hormigón el cual estuvo dosificado para un  $f'c$  de  $210 \text{ kg/cm}^2$ .

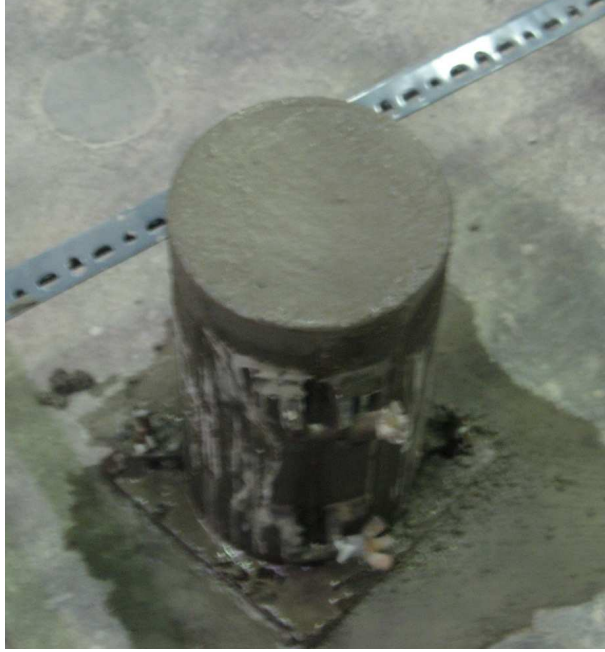


**Fotografía 4.14:** Viga lista para la fundición



**Fotografía 4.15:** Vigas terminadas.

Se tomaron dos muestras de hormigón una de cada viga para comprobar su resistencia a la compresión a los 28 días la cual fue de  $210 \text{ kg/cm}^2$ .



**Fotografía 4.16:** Cilindro estándar para el ensayo de hormigón (determinación del  $f'c$ ).



**Fotografía 4.17:** Procedimiento de ensayo de determinación del  $f'c$ . A los 28 días de toma de la muestra.



**Fotografía 4.18:** Mampostería terminada.

## **4.2 REHABILITACIÓN Y REFORZAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA**

Una vez realizado el ensayo en la mampostería, el cual se describe en el siguiente capítulo, se procedió a la rehabilitación de la pared en el un caso (pared ensayada) y el reforzamiento en el otro caso (pared sin ensayar), esta aclaración es debido a que, si bien el procedimiento es exactamente el mismo, las condiciones de las paredes son totalmente distintas, ya que una se encuentra totalmente fracturada como se indica en la fotografía No. 4.19 y la otra está en estado natural sin ninguna clase de sollicitación sometida anteriormente.

El procedimiento de rehabilitación y reforzamiento consiste en colocar malla electrosoldada compuesta por varillas de acero lisas de 5 mm de diámetro, espaciadas a 15 cm, en las dos caras laterales de la pared; esto es, porque en



casos prácticos es poco probable que en una estructura ya construida se encuentre una pared en la cual se pueda colocar malla en sus cuatro lados, debido a que las paredes dentro de una estructura se encuentran unidas según la distribución de los ambientes, es decir, de acuerdo a su diseño arquitectónico.

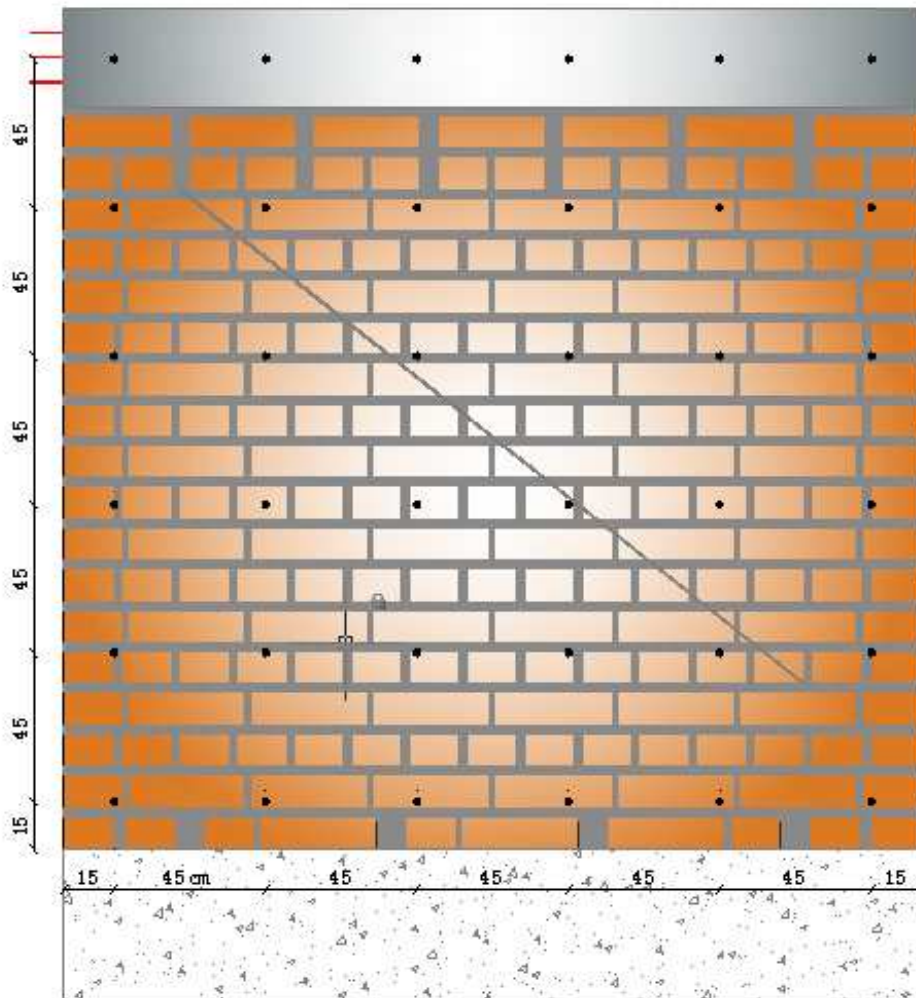


**Fotografía 4.19:** Condición de la mampostería ensayada agrietada previa a realizar su rehabilitación y reforzamiento.

El procedimiento se realizó cortando malla para una longitud de 2,55x2,40 m, así cubre toda el ancho de la pared (2.55 m), y llega hasta el centro de la viga de transmisión de carga (2.40 m), realizando un solo corte ya que las dimensiones comerciales de la malla es de 2.40 m de ancho por 6.25 m de longitud.

Posteriormente se realizaron perforaciones cada 45 cm con ayuda de un taladro eléctrico, por medio de las cuales se conectarán las mallas entre sí. Los conectores utilizados fueron cuatro tiras de alambre galvanizado #18

(comúnmente llamado alambre de amarre) por cada perforación, la conexión entre la viga de transmisión de carga y la malla electrosoldada se realiza mediante la utilización de 6 tacos fisher por cada cara de la pared. La ubicación de las conexiones las podemos observar en la figura No. 4.1



**Figura 4.1:** Disposición de los vínculos de unión de la mallas electrosoldadas, en la mampostería.



**Fotografía 4.20:** Amarre del alambre como vínculo de unión entre las mallas a cada cara de la pared.

Para realizar la conexión entre las mallas, es importante indicar que estas deben estar separadas de la pared por lo menos 1 cm, como se aprecia en la fotografía No. 4.20, esto es, para que la malla este embebida en el mortero, para lo que se utiliza pequeñas piedras o alzas en los lugares donde sean necesarias.



**Fotografía 4.21:** Separación de la malla electrosoldada de la pared 1 cm.

Una vez colocadas las mallas y debidamente conectadas entre si, se procede al enlucido o enchape de la pared, sólo en las caras en donde se ubicaron malla, dicho enchape se realiza con mortero de proporción volumétrica cemento, arena fina de 1:3 y un espesor de 3cm medidos a partir del plano de la pared, en ensayos posteriores del mortero de enchape se obtuvo una resistencia a los 28 días de  $137 \text{ kg/cm}^2$ .



**Fotografía 4.22:** Paredes durante el proceso de colocación del enchape de reforzamiento.



**Fotografía 4.23:** Probetas de mortero de enchape.

## CAPÍTULO V

### DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO DE MAMPOSTERÍA A CARGA VERTICAL Y HORIZONTAL

#### 5.1. REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE MAMPOSTERÍA SIN MALLA DE REFUERZO

##### 5.1.1. PREPARACIÓN DE EQUIPOS PARA LOS ENSAYOS

Una vez terminada la construcción de las paredes, tal como se describió en el capítulo anterior, y que alcanzaron la resistencia adecuada para poder ser ensayadas a carga horizontal, se las resanó exteriormente en las juntas de los ladrillos para que las grietas producidas durante los ensayos sean visibles. Luego se procedió a preparar el dispositivo de carga y a dar la pretensión en los apoyos antideslizantes y en los tensores (varillas roscadas), en la parte inferior de la losa de reacción del laboratorio, lo que se muestra en la siguiente fotografía:



**Fotografía 5.1:** Empotramiento de tensores en la losa de reacción del laboratorio.

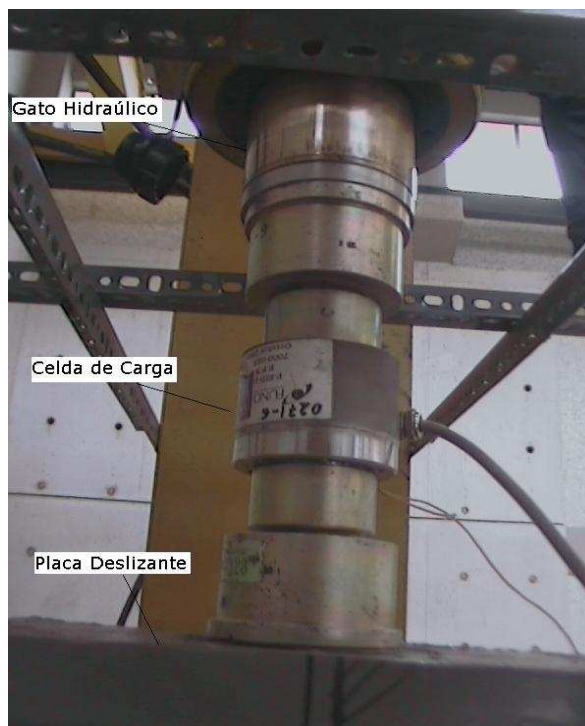
Después se instaló el dispositivo de carga, siguiendo el procedimiento descrito en el acápite 3.4.1.

Es de suma importancia la correcta posición de las varillas de transmisión de fuerza embebidas en la viga de solera, ya que deben entrar en la placa de transmisión de fuerza con facilidad caso contrario se produce excentricidad en la aplicación de la carga.



**Fotografía 5.2:** Dispositivo de aplicación de carga lateral con sus elementos.

Además de la carga lateral aplicada a la mampostería, es necesario simular las condiciones de trabajo de la misma dentro de la estructura, para esto se aplica carga vertical de 7 t., como se indicó en el acápite 3.3 que será la carga gravitatoria muerta a la cual estaría sometida. Para lo cual se coloca un gato hidráulico con su respectiva celda medidora de carga y otros elementos como se indicó en el capítulo 3, los cuales se pueden apreciar en la fotografía No. 5.3.



**Fotografía 5.3:** Dispositivo de aplicación de carga vertical, (Gato hidráulico, celda de carga y placa deslizante)

El eventual desplazamiento del conjunto, está controlado mediante dos LVDTs (Traductores de Desplazamiento Lineal Variable), los que muestran lecturas de deformación en cada instante del ensayo.

La ubicación de los mencionados LVDTs, fue configurada de tal forma de controlar los desplazamientos laterales de la mampostería durante el ensayo, es así que se ubicaron dos LVDTs; el primero en la parte inferior de la mampostería con el fin de medir el deslizamiento lateral al instante de aplicación de la carga; el segundo en la viga de solera para medir la deformación lateral que sufría la mampostería a medida que aumenta la carga y las deformaciones permanentes después del ensayo.

Por último se coloca los tensores a cada extremo de la mampostería como se observa en la fotografía No. 5.4 , estos son varillas corrugadas de acero  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$  roscadas en los dos extremos que con ayuda de placas distribuidoras de presión son tensadas desde la losa de reacción del laboratorio a la viga de solera, en la cual se colocaron dispositivos de acero o placas (fotografía No. 5.20), en las que mediante tuercas se da tensión a estas varillas, la función de los tensores es

la de evitar el volcamiento debido a la fuerza lateral aplicada por el gato hidráulico. Para un mejor control de los esfuerzos a los que dichos tensores están sometidos se coloca un Strain Gages el cual envían información a la UPS del sistema mostrando la deformación, y por tanto haciendo posible conocer el esfuerzo de los tensores, para evitar así que lleguen a la fluencia  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .



**Fotografía 5.4:** Pared lista para el ensayo, ubicación de tensores en los extremos.

### **5.1.2 ENSAYO SOBRE LA PARED DE MAMPOSTERÍA SIN REFORZAMIENTO**

El ensayo de la pared consistió en aplicar carga lateral cíclica en ambos sentidos, empujando (carga positiva) y halando (carga negativa), para analizar el comportamiento de las paredes, una vez calibrado y encerado el equipo, empezó el ensayo dando carga negativa.

Los ciclos se incrementaron a medida en que se alternaba la carga positiva con la negativa, en cada cambio de ciclo se inspeccionaba la pared ensayada para divisar cualquier grieta que se presentase, para resaltarla y así hacer un seguimiento de la evolución de la misma con el incremento de carga.



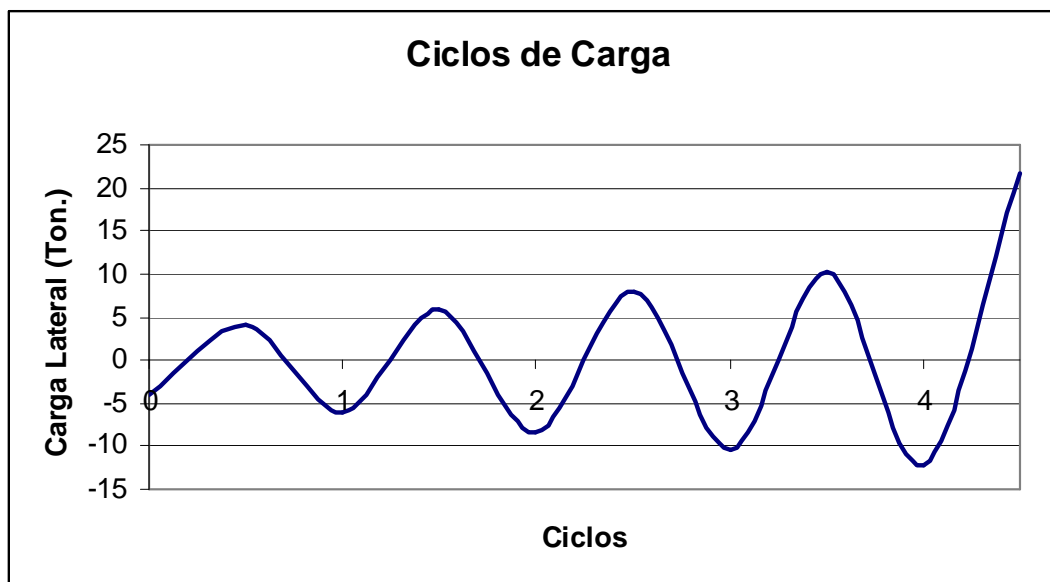
La emisión de los datos enviados a través de los canales de la UPM se los controló de la siguiente manera: canal 2 para la carga vertical aplicada sobre la viga, la cual era controlada por una celda de carga, canal 3 para la carga lateral aplicada por el gato hidráulico la cual era controlada por otra celda de carga, para la deformación de la viga de coronación el canal 6 y por último el canal 5 para la deformación en la parte inferior de la mampostería. Las deformaciones de las vigas eran suministradas por los LVDTs.

Por medio del computador se controló el ensayo mediante la gráfica deformación de la viga superior versus carga aplicada.

El ensayo de la pared concluyó cuando ésta llega al agotamiento, mostrando una falla frágil, es decir, cuando el valor de la carga aplicada ya no se incrementa.

Los ciclos de carga aplicados a ésta fueron incrementándose como se explica en la siguiente gráfica.

**Gráfico 5.1:** Ciclos de aplicación de carga lateral.



**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

Los ciclos de carga todos fueron regulares, solo cambia el sentido de la carga, hasta llegar al valor de 12 t., valor en el cual se toma la decisión de aplicar la

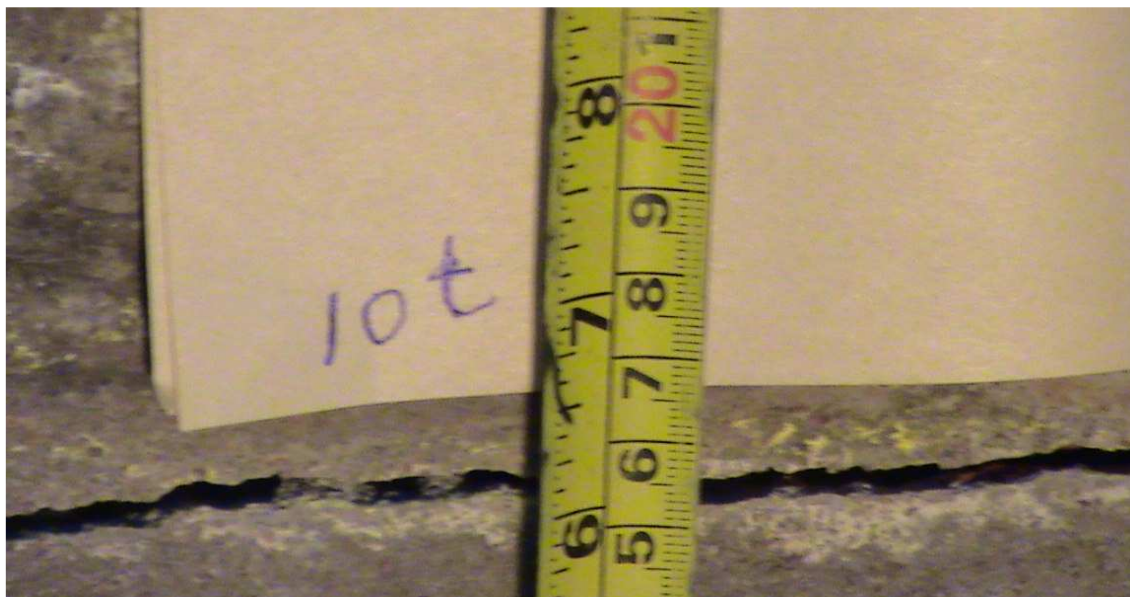
carga en un solo sentido (+), debido a la ubicación de la carga vertical, que, por motivos logísticos no era central, lo que producía que al aplicar carga negativa, esta aumenta el momento de volcamiento de la mampostería, y al contrario al aplicar carga positiva, la carga vertical reduce el momento de volcamiento en la mampostería, haciendo que los esfuerzos en los tensores sean menores.

Las primeras fisuras se presentaron a una carga de -6 t. En la parte inferior de la mampostería, en la zona cercana a los apoyos antideslizantes (tee) colocados, la fisura es de tipo horizontal como se ve en la fotografía No. 5.5. La deformación presente en ese instante en la viga superior es de 2.95 mm. Se produjo un deslizamiento en la base de -0.011 mm



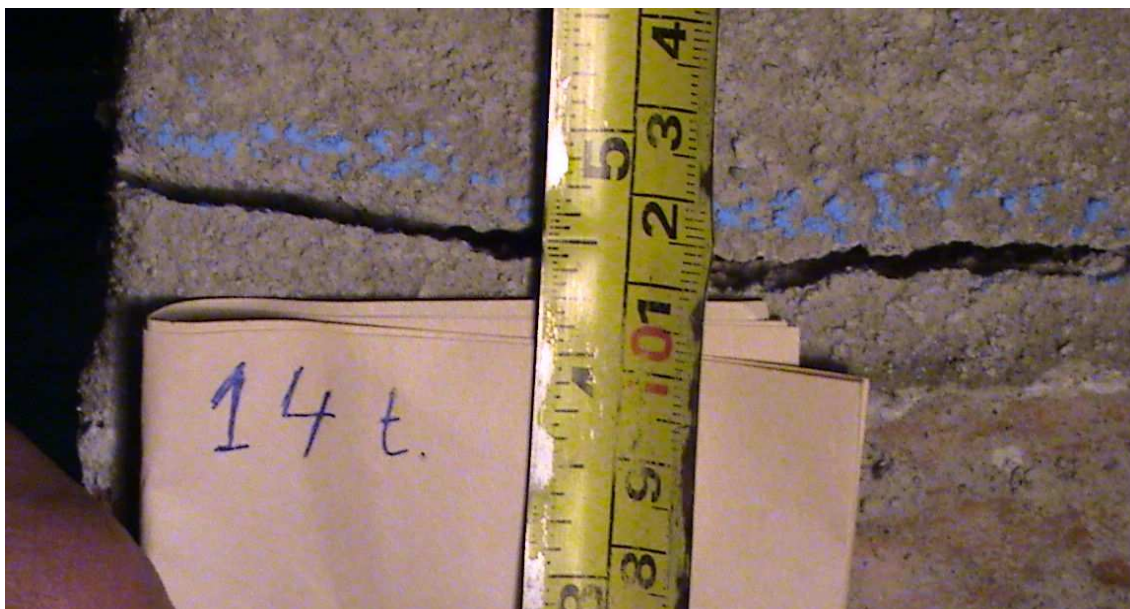
**Fotografía 5.5:** Fisuras en la pared a las 6 t de carga negativa

Por tratarse de mampostería sin reforzamiento se espera una falla frágil, por tanto al aumentar la carga solo se amplían las grietas ya existentes, es así que al aplicar una carga de 10 t. las grietas aumentan hasta una abertura de 4 mm como se puede apreciar en la siguiente fotografía, en ese instante el desplazamiento en la base de la pared es de 0.07mm y en la viga superior de 1.98 mm.



**Fotografía 5.6:** Ancho Fisura en la pared a las 10 t. de carga negativa.

La abertura a las 14 t aumenta a 5 mm como se puede observar en la fotografía siguiente, la deformación superior es de 4.19 mm y la inferior es de 0.23 mm. La carga vertical por efectos de volcamiento aumenta hasta 13.2 t.



**Fotografía 5.7:** Ancho Fisura en la pared a las 14 t. de carga negativa.

La abertura a las 18 t aumenta hasta 8 mm como se puede observar en la fotografía siguiente, la deformación superior es de 6.6 mm y la inferior es de 0.41 mm. La carga vertical por efectos de volcamiento aumenta hasta 13.3 t.



**Fotografía 5.8:** Ancho Fisura en la pared a las 18 t. de carga positiva.

La abertura a las 20 t. aumenta a 9 mm como se puede observar en la fotografía 5.9, la deformación superior es de 9.29 mm y la inferior es de 0.66 mm. La carga vertical por efectos de volcamiento aumenta hasta 13.5 t.



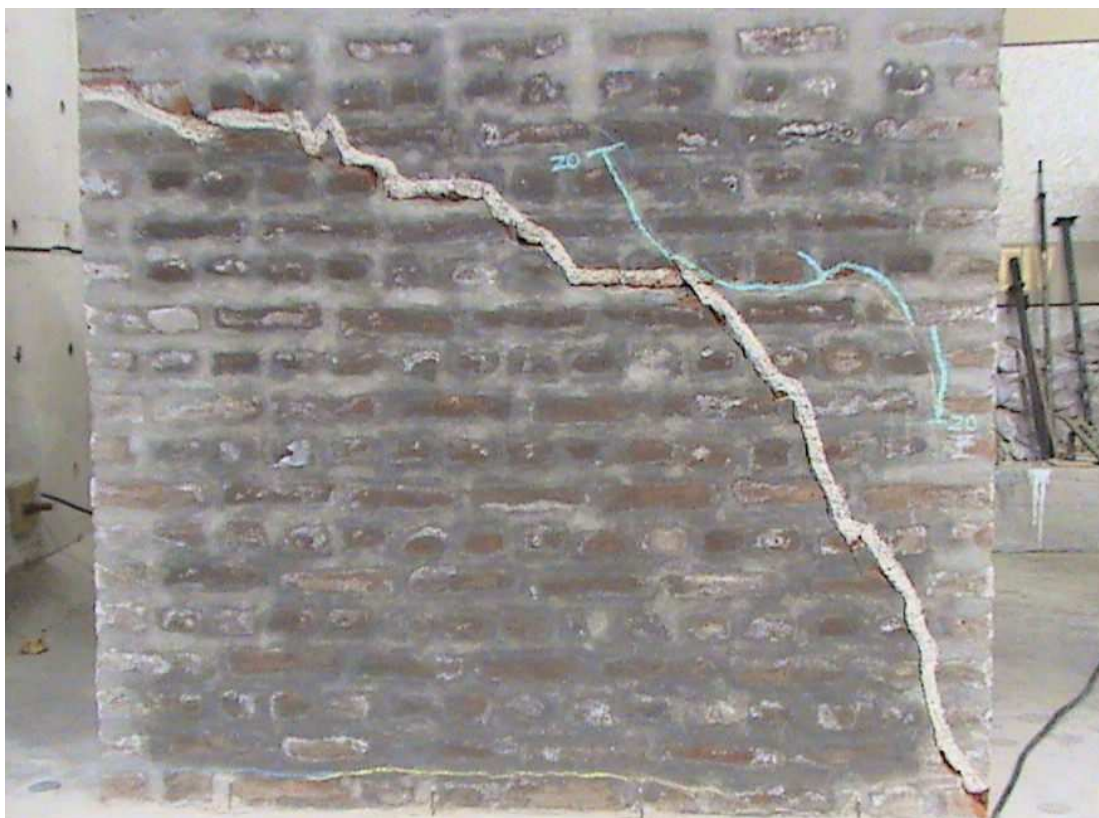
**Fotografía 5.9:** Ancho Fisura en la pared a las 20 t. de carga positiva.

En este estado de carga aparecen las primeras grietas en la zona central de la mampostería, aunque son muy pequeñas, esto demuestra que la pared está próxima a llegar a la falla total.

Al aumentar la carga lateral hasta 21.56 t. y la carga vertical que ya había alcanzado el valor de 18.9 t. se produce la falla total de la mampostería, esta ocurre de manera súbita (frágil), formándose una grieta diagonal en toda la pared, como se puede apreciar en la fotografía No. 5.10.

Cuando la mampostería no es capaz de resistir ningún incremento de carga se da por terminado el ensayo.

La deformación final de la pared en la parte superior es de 12.07 mm y en la parte inferior es de 0.98 mm por deslizamiento total.



**Fotografía 5.10:** Pared agotada, fin del ensayo

## **5.2 REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE MAMPOSTERÍA AGRIETADA REFORZADA**

Una vez terminado el reforzamiento de la mampostería, como se explica en el capítulo anterior numeral 4.2, se procede a realizar el segundo ensayo sobre la misma pared de mampostería. El procedimiento de este segundo ensayo es prácticamente el mismo, con las diferencias que se indican a continuación:

- Debido a la gran resistencia mostrada en el primer ensayo, por razones de seguridad se aumentaron los strain gages a cuatro, uno en cada tensor de la pared.
- Para un mejor control en los desplazamientos de la pared se colocaron tres LVDTs, el primero en la parte inferior de la mampostería con el fin de verificar el deslizamiento al instante de aplicación de la carga; el segundo a 30 cm desde el piso, con el propósito de determinar de mejor forma el desplazamiento de la mampostería ya que debido a la presencia de apoyos antideslizantes en la base se pueden producir desplazamientos cercanos a esta zona, y por último se coloca un LVDT en la viga de solera para controlar la deformación lateral que sufría la mampostería a medida que aumentaba la carga y medir las deformaciones permanentes después del ensayo.

El ensayo de la pared consistió en aplicar carga lateral cíclica en ambos sentidos, empujando (carga positiva) y halando (carga negativa), para ver el comportamiento de las paredes, una vez calibrado y encerado el equipo empezó el ensayo dando carga negativa.

Los ciclos se incrementaron a medida en que se alternaba la carga positiva con la negativa, en cada cambio de ciclo se inspeccionaba la pared ensayada para divisar cualquier grieta que se presentase para resaltarla y así analizar la evolución de la misma con el incremento de carga.

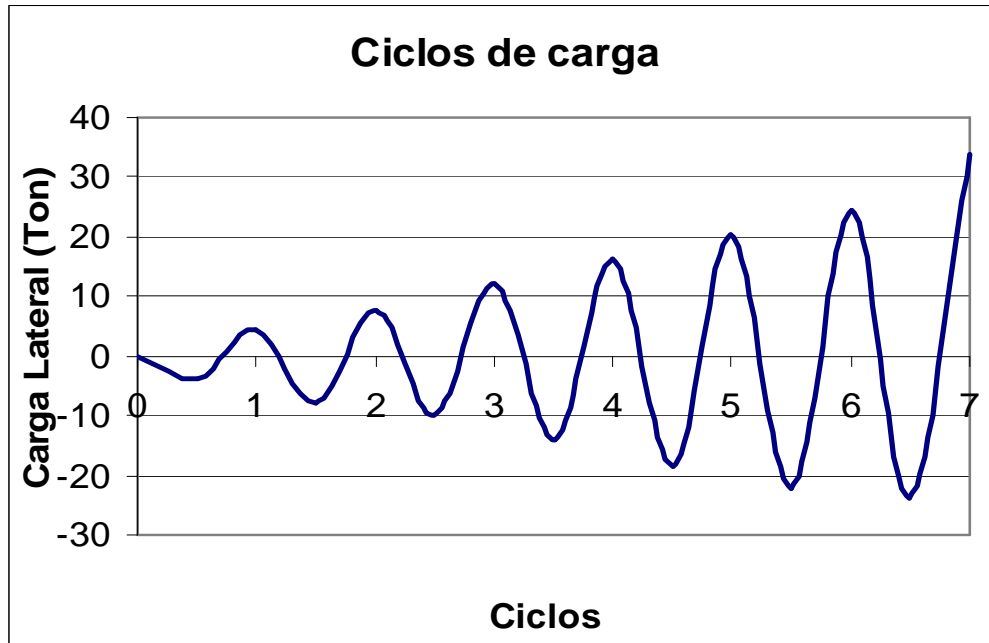
La emisión de los datos enviados a través de los canales de la UPM se los controló de la siguiente manera: canal 2 para la carga vertical aplicada sobre la viga, la cual era controlada por una celda de carga, canal 5 para la carga lateral aplicada por el gato hidráulico la cual era controlada por otra celda de carga, para la deformación de la viga de coronaciones utilizó el canal 6, para la controlar el deslizamiento en la base el canal 8 y a 30 cm. De la base se colocó otro dispositivo LVDT para un mejor control de los deslizamientos y deformaciones de la mampostería como conjunto. Además se utilizaron 4 strain gages, uno en cada tensor para un mejor control de las deformaciones y por tanto los esfuerzos producidos en estos, ya que las fuerzas en este ensayo aumentarían drásticamente en comparación con el primero, para cumplir este objetivo se utilizaron los canales 9, 10, 11 y 12

En el computador se controló el ensayo mediante la gráfica deformación de la viga superior versus la carga lateral aplicada, así como la deformación producida en cada uno de los sensores.

El ensayo de la pared concluyó cuando ésta llegaba al agotamiento, mostrando a diferencia del primer ensayo una falla dúctil, sin características explosivas. Los resultados serán comentados en el capítulo siguiente.

Los ciclos de carga aplicados en este segundo ensayo fueron incrementándose como se explica en la siguiente gráfica;

**Gráfico 5.2:** Ciclos de aplicación de carga lateral.



**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

Las primeras fisuras se presentaron a una carga de 14.8 t, en la parte inferior de la mampostería, en la zona cercana a los apoyos antideslizantes (tee) colocados, la fisura es de tipo horizontal como se ve en la fotografía No. 5.11. La deformación presente en ese instante en la viga superior es de 5.8 mm., se produjo un deslizamiento en la base de 0.34 mm, y a 30 cm de esta, una deformación de 1.21 mm. Es importante indicar que la carga vertical debido a efectos de volcamiento aumentó de 7 t a 13.6 t en ese instante.





**Fotografía 5.11:** Fisuras en la pared a las 14.8 t. de carga negativa

De manera similar se produce una fisura a las -17 t. de carga lateral, pero esta se produce en el extremo inferior izquierdo de la pared, tiene una tendencia horizontal y se ubica cercana a los apoyos antideslizantes, el deslizamiento en ese instante fue de 0.4 mm en la base. Al igual que en el caso anterior la carga vertical aumenta hasta 16.56 t y la deformación en la parte superior es de -11.17 mm

La tendencia continúa, al aumentar progresivamente la carga lateral, las fisuras formadas en la base tienden a unirse, pero debido a la excentricidad de aplicación de la carga vertical, ésta aumenta el momento de volcamiento cuando se ejercen cargas negativas, es así que a -22 t. se produce un levantamiento de la pared en la esquina inferior derecha de 1cm, como se indica en la fotografía No. 5.12. La deformación en la parte superior es de 20 mm, y el deslizamiento es de 0.72 mm.



**Fotografía 5.12:** Efecto de volcamiento (levantamiento de la pared)

La tendencia continúa al aplicar carga lateral negativa, es así, que en -23.7 t. el levantamiento de la pared es de 2 cm y la deformación en la parte superior es de 31.6 mm. y el desplazamiento en la base es de 1.64 mm, mientras que a 30 cm de la base la deformación de -2.036 mm. Las grietas existentes están en el orden de 4 mm de espesor.



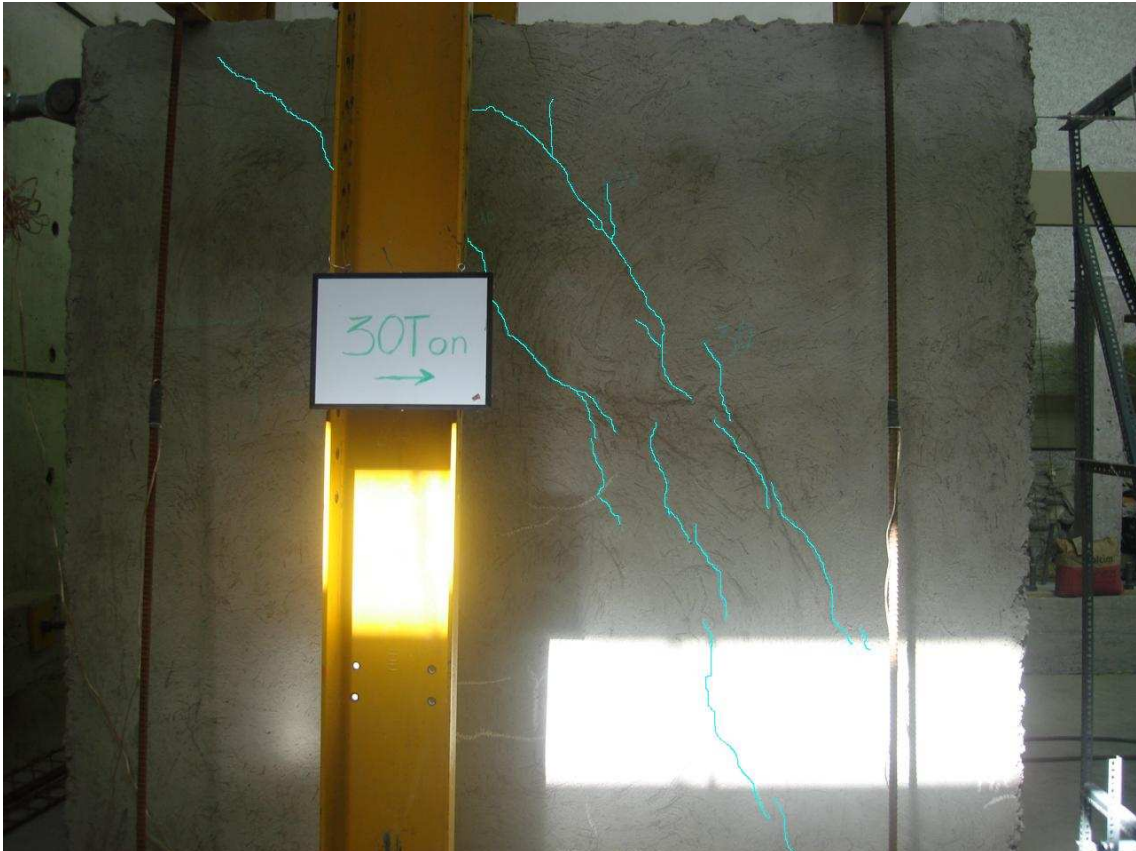
**Fotografía 5.13:** Efecto de volcamiento (levantamiento de la pared)



**Fotografía 5.14:** Efecto de volcamiento (levantamiento de la pared)

Debido a que el levantamiento de la pared aumenta cada vez más, se toma la decisión que después de los -23.7 t., se aplica carga lateral unidireccional de empuje (+).

Las grietas en la diagonal de la pared se hacen visibles al aplicar carga lateral de 30 t., empiezan a triturarse los ladrillos en la esquina inferior derecha (ver fotografía No. 5.16).



**Fotografía 5.15:** Fisuras en la pared a las 30 t. de carga positiva



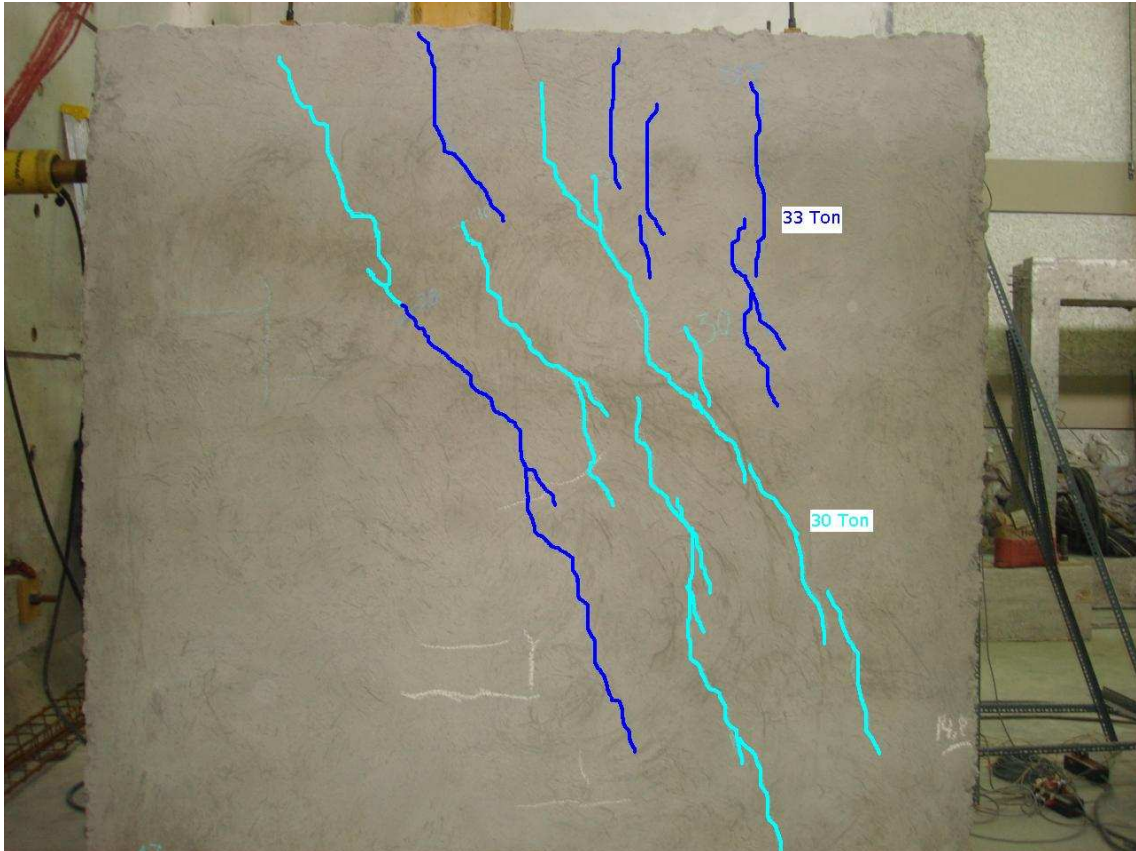
**Fotografía 5.16:** Fisuras en el interior de la pared las 30 t de carga positiva

Por último al alcanzar las 33.1 t., las grietas se hacen más visibles, el enchape se separa de la mampostería en la zona de compresión.



**Fotografía 5.17:** Desprendimiento de la capa de enchape a las 30 t de carga positiva

Se obtiene una deformación total en la parte superior de 26.07 mm, y un deslizamiento en la base de 4.88 mm, y por causa de la fractura en la zona cercana a los apoyos se obtiene una deformación a 30 cm de la base de 7.22 mm. La carga vertical máxima alcanzada fue de 22.651 t.



**Fotografía 5.18:** Fisuras en la pared a las 33 t de carga. Finalización del ensayo

Se decide dar por finalizado el ensayo al caer los ladrillos triturados de la esquina inferior izquierda.



**Fotografía 5.19:** Desprendimiento de ladrillos una vez terminado el ensayo.

Mediante el control del comportamiento de las varillas de acero con strain gages se verificó a lo largo del ensayo que ninguna llegó a la fluencia. El mayor esfuerzo realizado por dichos tensores fue de  $3268 \text{ kg/cm}^2$ .

### 5.3 REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

El procedimiento de este tercer ensayo es el mismo que el anterior, tanto en la disposición de los LVDTs como en la distribución de canales para todos los dispositivos electrónicos, pero, por la configuración de la losa de reacción del laboratorio, se debió colocar placas de acero adicionales en la parte superior y mesas de acero en la losa de reacción del laboratorio para el tensionamiento de las varillas que evitan el volcamiento, estos dispositivos los podemos apreciar en las fotografías siguientes:



**Fotografía 5.20:** Dispositivo para aplicar tensión en las varillas de acero consta de 18 placas ubicadas sobre la viga superior.

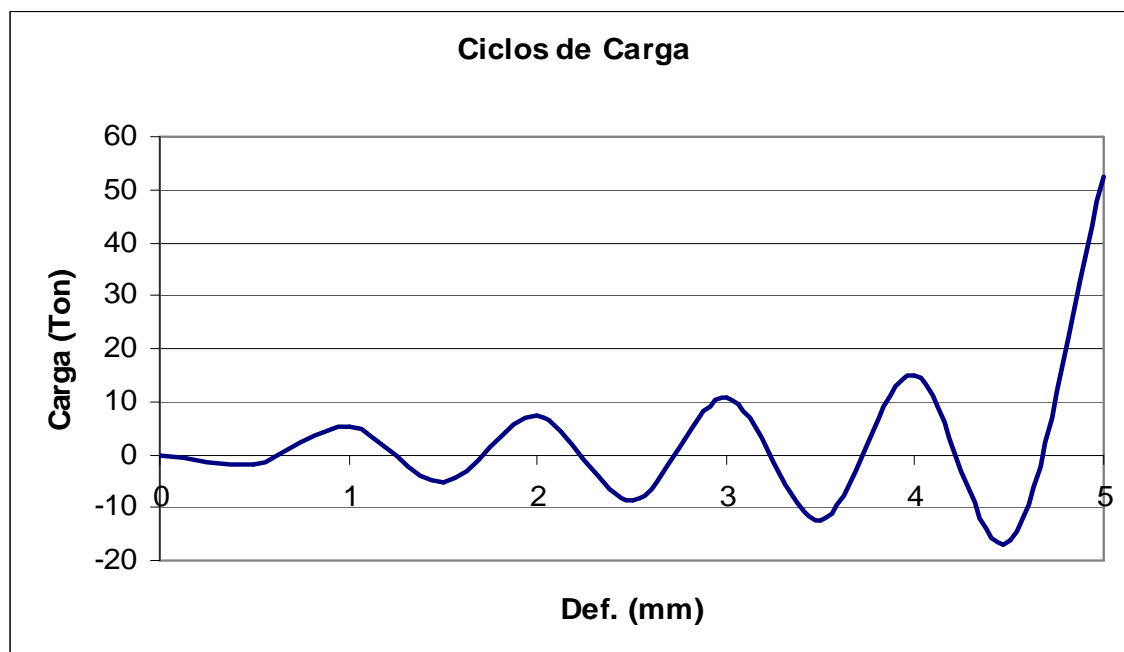




**Fotografía 5.21:** Dispositivo para aplicar tensión en las varillas (mesas de acero) ubicadas bajo la losa de reacción del laboratorio.

Debido a las grandes fuerzas aplicadas, la carga cíclica dada solo se mantuvo hasta -16 t, como se puede apreciar en el gráfico 5.3. Después de esto se debió colocar los sensores exclusivamente en un solo extremo de la pared para que de esta forma los esfuerzos producidos por el efecto de volcamiento sean controlados por los cuatro sensores.

Los ciclos de carga aplicados en este tercer ensayo fueron incrementándose como se explica en el siguiente gráfico.

**Gráfico 5.3:** Ciclos de aplicación de carga lateral.

**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

El ensayo de la pared consistió en aplicar carga lateral cíclica en ambos sentidos, empujando (carga positiva) y halando (carga negativa), hasta las -16 t. por las razones anteriormente indicadas, después se aplicó carga lateral en un solo sentido (empujando) hasta llegar a la falla total de la mampostería, una vez calibrado y encerado el equipo se empezó dando carga negativa.

Los ciclos se incrementaron a medida en que se alternaba la carga positiva con la negativa, en cada cambio de ciclo se inspeccionaba la pared ensayada para divisar cualquier grieta que se presentase para resaltarla y así analizar la evolución de la misma con el incremento de carga.

En el computador se controló el ensayo mediante la gráfica deformación de la viga superior versus la carga lateral aplicada, así como los esfuerzos producidos en cada uno de los sensores.

El ensayo de la pared concluyó cuando ésta llegaba al agotamiento, mostrando grandes deformaciones con incrementos de carga muy pequeños. Los resultados serán comentados en el capítulo siguiente.

Las primeras fisuras se presentaron a una carga de -18 t., en la parte inferior de la mampostería, en la zona cercana a los apoyos antideslizantes (tee) colocados, la fisura es de tipo horizontal como se ve en la fotografía No. 5.10. La deformación presente en ese instante en la viga superior es de 6.18 mm. Se produjo un deslizamiento en la base de 1.51 mm, y a 30 cm de esta una deformación de 1.85 mm. Es importante indicar que la carga vertical debido a efectos de volcamiento aumentó de 7 t. a 15 t. en ese instante.



**Fotografía 5.22:** Fisura horizontal en la base de la pared a 18 t de carga negativa

Luego se procedió a realizar el cambio de posición de los cuatro tensores anti volcamiento.



**Fotografía 5.23:** Ubicación final de los tensores, ensayo unidireccional (Aplicación de la Carga lateral en un solo sentido).

Después de esto se procedió a dar carga continua, con una constante supervisión sobre la pared para verificar la aparición de grietas. Los efectos de volcamiento eran muy pequeños.

Las primeras grietas aparecieron cuando la carga lateral aplicada fue de 40 t., en ese instante se hizo un reconocimiento de cada una de las grietas, cabe indicar que en ese momento se presentó un deslizamiento en la parte inferior de la pared de 2.8 mm y una deformación en la viga, es decir, en la parte superior de la pared de 18.78 mm,



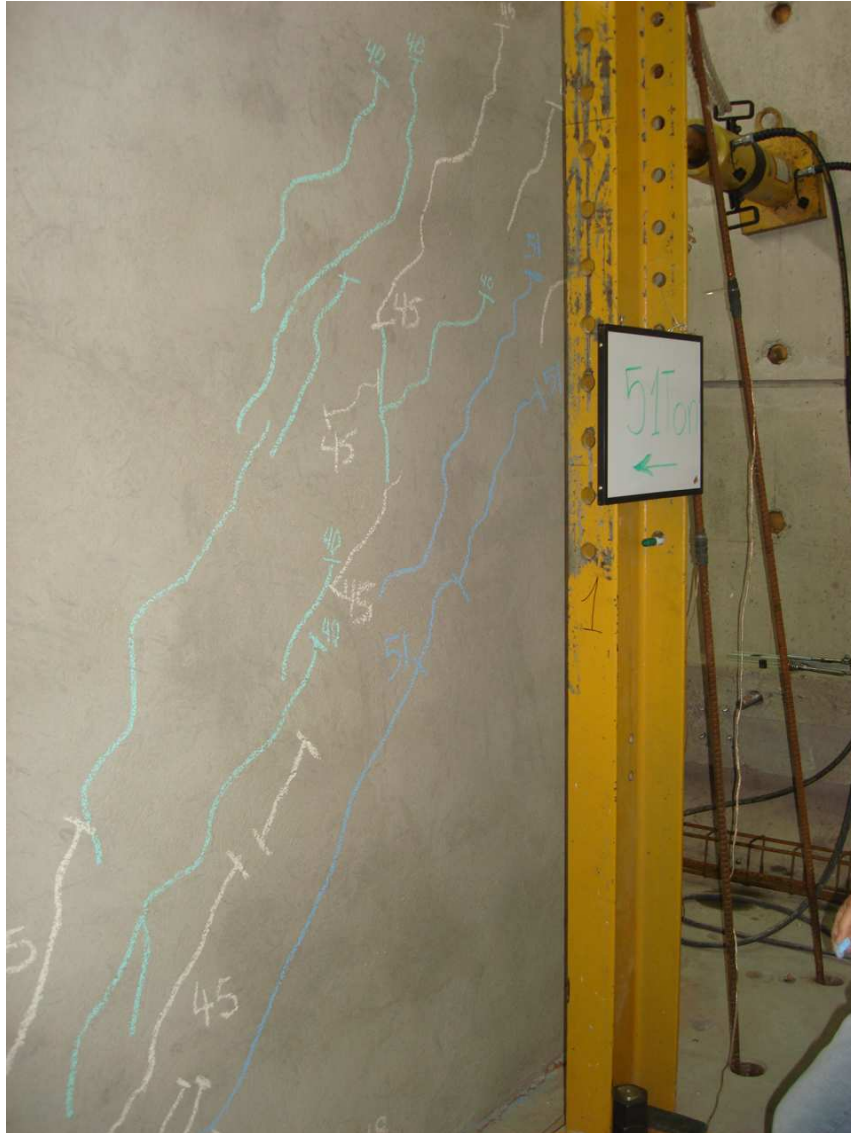
**Fotografía 5.24:** Fisuras en la pared a las 40 t de carga positiva

Estas grietas aumentaron de tamaño, y a una carga de 45 t. aparecieron nuevas grietas, por tanto este fue otro punto de control, en el cual se presentó un desplazamiento al pie de la pared de 5.22 mm y en la viga superior de 25.16 mm, y la carga vertical aumento hasta 29.63 t.



**Fotografía 5.25:** Fisuras en la pared a las 45 t de carga positiva

Las grietas aumentan su longitud, el levantamiento por efectos de volcamiento es de 4 cm y el enchape empieza a caerse cuando se aplican 51 t. de carga lateral, todas las grietas muestran una tendencia clara hacia la diagonal como se puede observar en la fotografía No 5.26, la deformación en la viga superior aumenta a 33 mm y al pie de la pared el desplazamiento es de 9.51 mm, la carga vertical aumenta hasta el valor de 31 t.



**Fotografía 5.26:** Fisuras en la pared a las 51 t de carga positiva



**Fotografía 5.27:** Levantamiento a causa del volcamiento a 51 t de carga lateral.

El ensayo llega a su fin cuando el enchape empieza a desprenderse de la mampostería, los ladrillos en la zona de compresión muestran una grieta en la mitad de la pared de 36 cm como se puede apreciar en la fotografía No. 5.29, y las grietas aumentan considerablemente de longitud.

La deformación final al aplicar una carga lateral de 52.42 t. en la parte superior de la pared es de 41.72 mm, en la parte inferior de 14.39 mm y a 30 cm de la base es de 15.55 mm .

La carga vertical última llega hasta un valor de 29.28 t.





**Fotografía 5.28:** Agrietamiento final de la mampostería.



**Fotografía 5.29:** Desprendimiento del enchape de refuerzo y grieta central en los ladrillos hasta 36 cm de altura.

Inmediatamente después de terminar el ensayo los ladrillos comprimidos se desprenden totalmente de la pared. Ver fotografía No. 5.30



**Fotografía 5.30:** Desprendimiento de ladrillos. Terminado el ensayo.

Como se puede apreciar en la fotografía anterior el conector de unión entre las mallas de la mampostería (alambre galvanizado), después de la falla de la pared no se ha desprendido, mostrando una relativa eficiencia del amarre.

## CAPÍTULO VI

### RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE MAMPOSTERÍA A CARGA VERTICAL Y HORIZONTAL

#### 6.1 OBJETIVOS DEL ENSAYO CÍCLICO<sup>32</sup>

Después de haber realizados el ensayo sobre la pared de mampostería sin refuerzo, se plantea alcanzar los objetivos de dicho ensayo, el cual es determinar algunos parámetros acerca del comportamiento de la mampostería.

Estos parámetros incluyen:

- a) La ductilidad disponible.
- b) La degradación de la resistencia.
- c) La degradación de la rigidez.
- d) La forma de falla.

Debido a la aplicación de una fuerza externa para evitar el volteo de la mampostería se introducen condiciones de borde las cuales alteran el estado puro de esfuerzos y el ensayo, entonces, provee una medida relativa de resistencia al corte (o tracción diagonal), que es útil exclusivamente para evaluaciones cualitativas o comparativas.

El proceso de carga, culmina con el diagrama de comportamiento histerético del muro, del cual puede determinarse los parámetros antes mencionados.

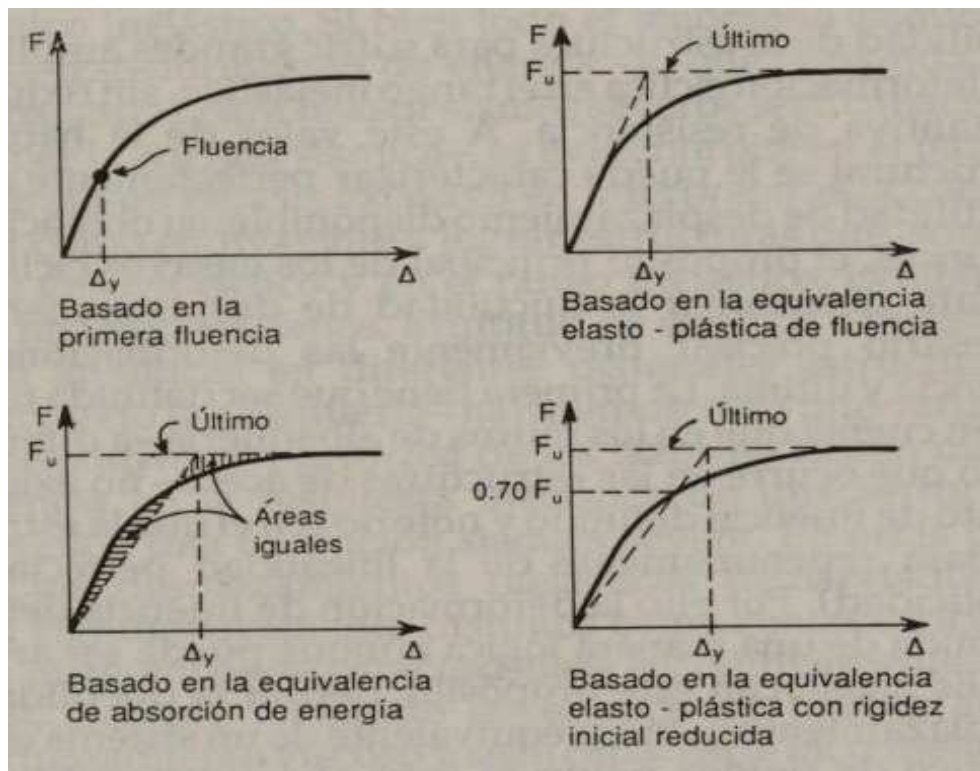
---

<sup>32</sup> Gallegos, H, (1991), Albañilería Estructural, Segunda Edición, Lima, Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Para determinar la ductilidad máxima de desplazamiento es necesario precisar previamente las deformaciones de fluencia y mínima. En el primer caso se deberá tener en cuenta que en la mampostería no existe un límite de fluencia notorio, por tanto la deformación de fluencia debe ser definida de una manera lógica, existiendo métodos basados en dos principios básicos, la equivalencia de un sistema elasto-plástico de rigidez reducida y en el balance de energía .

A continuación se muestra algunos métodos gráficos sugeridos para la determinación del límite de fluencia de la mampostería. Ver la figura No. 6.1.

**Figura 6.1:** Determinación de las condiciones de fluencia de la mampostería



**FUENTE:** ALBAÑILERÍA ESTRUCTURAL, H. Gallegos (1991)

La deformación última ( $\delta_u$ ) es el valor correspondiente al momento de falla de la mampostería, es decir, cuando esta ya no es capaz de resistir ningún incremento de carga.

Para determinar la ductilidad máxima de desplazamiento se tiene:

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (6.1)$$

Donde:

$\mu$  = Ductilidad máxima de desplazamiento

$\delta_y$  = Deformación de fluencia.

$\delta_u$  = Deformación última.

Debe notarse que en casos reales, en los que se trata de limitar los daños, la deformación disponible puede fijarse en función del comportamiento de estructuras reales sometidas a sismos y de ensayos de muros a escala natural, limitando la deriva del muro.

## **6.2. ENSAYO SOBRE LA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO SIN MALLA DE REFUERZO**

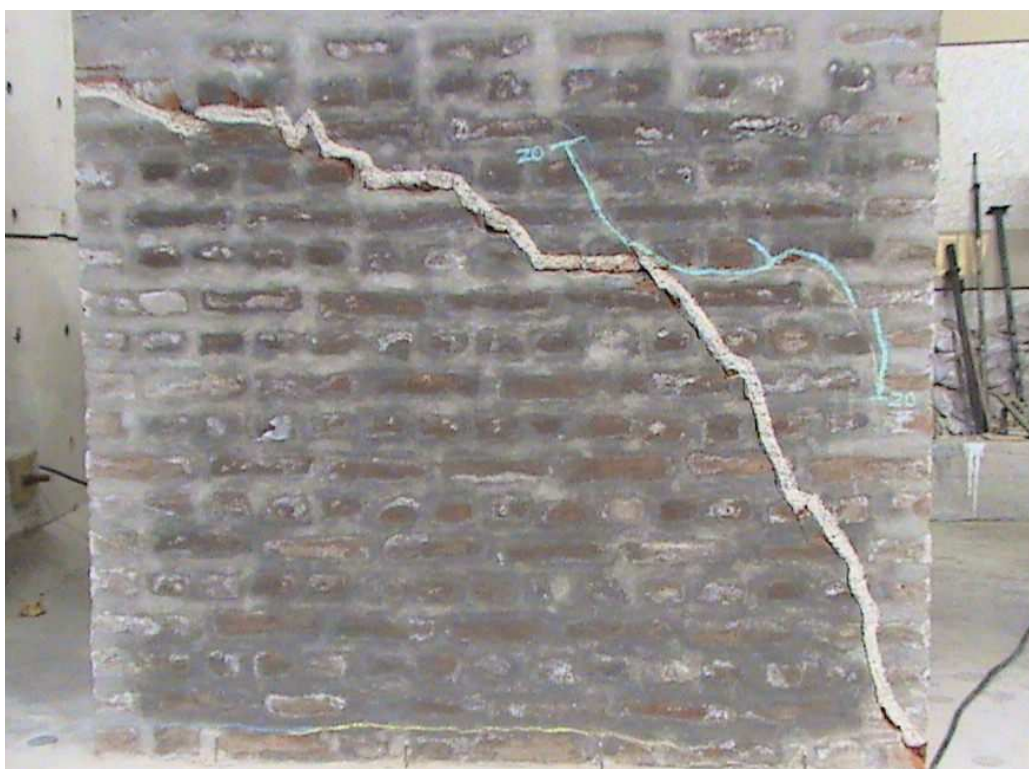
### **6.2.1. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS**

Inicialmente se aplicó una carga vertical de 7 t. que representa una mínima carga de uso (1 piso). La primera fisura se presentó al aplicar una carga lateral de -6 t. que produjo una deformación lateral de 2.95 mm. medida en la viga de solera. Dichas grietas se presentaron en la zona cercana a la ubicación de los apoyos antideslizantes y tienden a ser horizontales. El esfuerzo al que estuvo sometida la mampostería durante la aparición de estas grietas es de  $0,65 \text{ Kg/cm}^2$ . y la respectiva deriva producida en ese instante fue de 0,0012.

Al continuar el ensayo, se incrementó la carga lateral, lo que produjo un aumento en la compresión vertical. Las grietas antes mencionadas aumentaron su longitud y espesor debido al volcamiento que producía la aplicación de carga lateral. A más de estas grietas no se presentó ninguna otra en la diagonal de la mampostería, hasta llegar a una carga lateral de 20 t. En este estado de carga se

presentan las primeras grietas en la zona de la diagonal de la mampostería, dichas grietas son de longitud muy pequeña y espesor mínimo.

La falla total se produce al aplicar una carga lateral de 21.56 t. junto con una fuerza de compresión axial de 18.9 t. dando como resultado una deformación total en la parte superior de 12.07 mm. El deslizamiento en la parte inferior es de 0.98 mm. Los esfuerzos de falla tanto a corte como por compresión son  $2.35 \text{ Kg/cm}^2$  y  $2.07 \text{ Kg/cm}^2$  respectivamente. Con una deriva máxima de 0,0046



**Fotografía 6.1:** Pared agotada, final del ensayo

*“Lo esencial, que debe inferirse del análisis precedente, es que los parámetros de control más efectivos para asegurar un correcto comportamiento sismo-resistente son:*

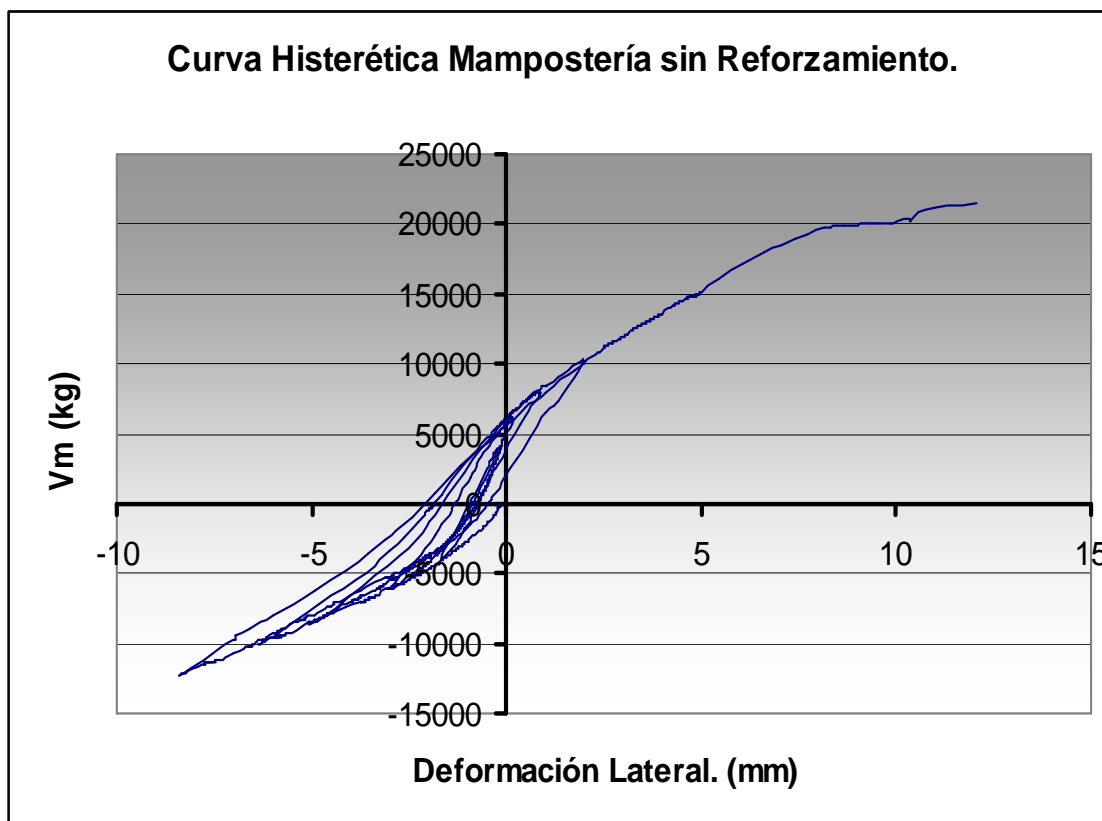
- 1. La ductilidad de desplazamiento*
- 2. La deformación máxima de la respuesta inelástica.<sup>33</sup>*

---

<sup>33</sup> Gallegos, H, (1991), Albañilería Estructural, Segunda Edición, Lima, Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Con los datos obtenidos del ensayo de la mampostería se obtuvo la curva histerética, en donde se puede apreciar el comportamiento de la pared durante todo el ensayo, mostrando como carga máxima el valor de 21.56 t. y una deformación de 12.07 mm. correspondiente al instante de falla de la mampostería.

**Gráfico 6.1:** Diagrama histerético (deformación en viga superior).

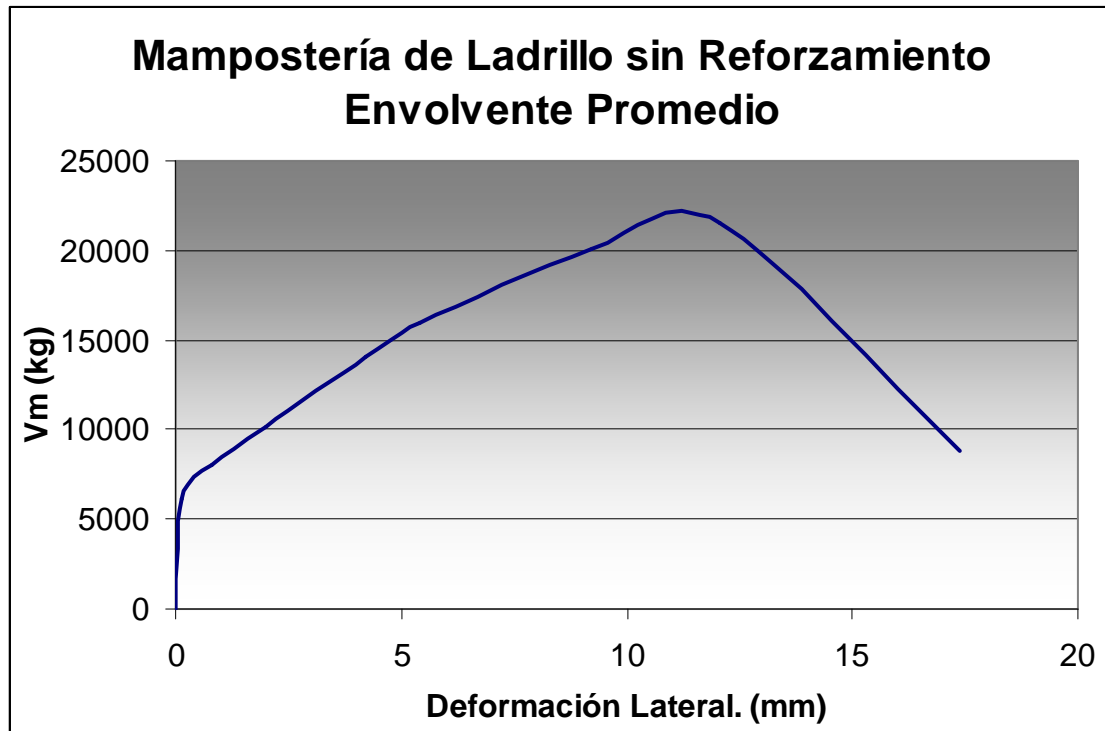


**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

Además se obtuvo la gráfica de la envolvente de carga, en la cual, mediante el método basado en la equivalencia de absorción de energía, descrito anteriormente en la figura No. 6.1, se determina el límite elástico a las 18.06 t. de carga con una deformación de fluencia ( $\delta_y$ ) de 7.36 mm, (esfuerzo de fluencia de  $1,96 \text{ kg/cm}^2$ ) y la deformación última ( $\delta_u$ ) correspondiente es de 12,07 mm a la aplicación de la carga última de 21.56 t.

La gráfica envolvente promedio, es resultado del par ordenado formado por; en abscisas el promedio entre la deformación producida en un ciclo positivo y la deformación producida por su correspondiente ciclo pero negativo, y en ordenada el valor absoluto de la carga máxima de cada ciclo aplicado.

**Gráfico 6.2:** Curva envolvente promedio de Carga Lateral vs. Deformación alcanzados en ambos sentidos, resultado de la experimentación.

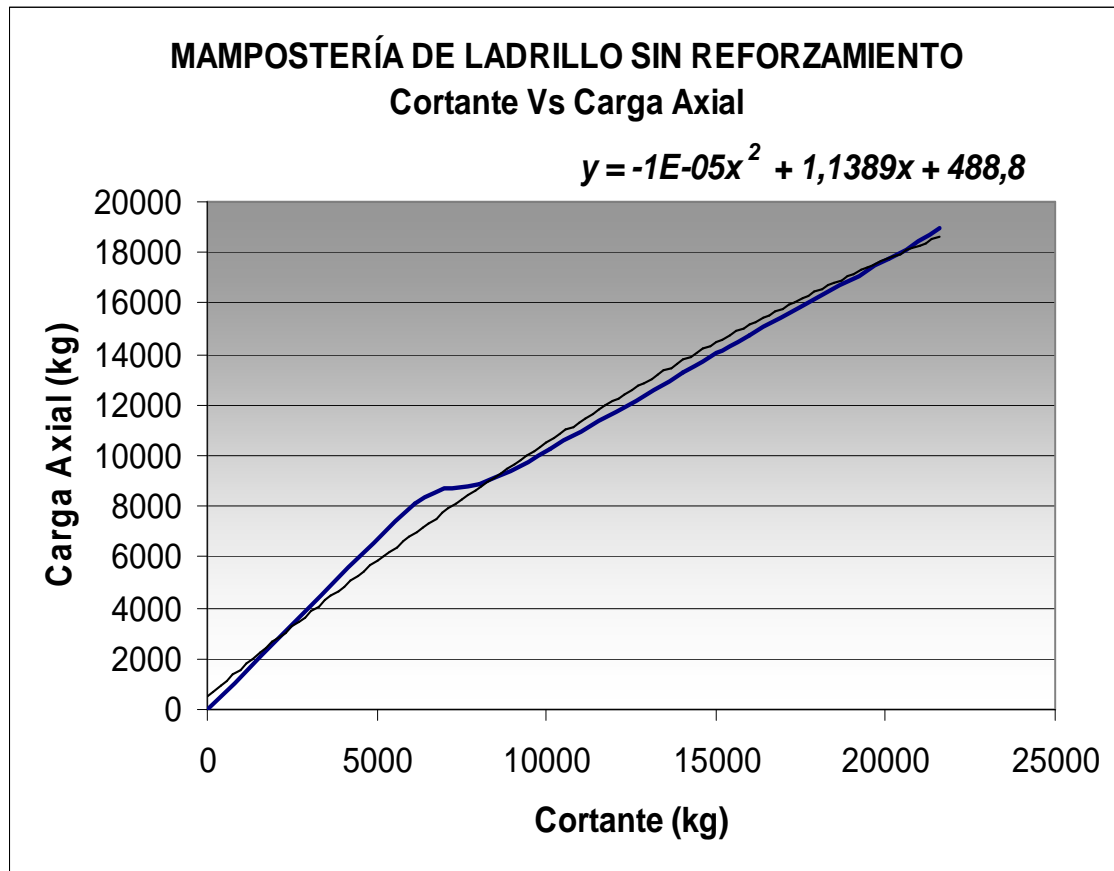


**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

Del análisis de la curva envolvente se determina  $\mu = 1.64$  aproximadamente.

Es importante indicar la forma progresiva de aumento de carga axial vertical que ocurre conjuntamente con el aumento de carga lateral, en otras palabras para cada estado de fuerza lateral (cortante) le corresponde un único valor de fuerza axial vertical.



**Gráfico 6.3:** Curva Cortante vs. Carga Axial, línea de tendencia y fórmula

**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

### 6.2.2. EXPLORACIÓN DE LA MAMPOSTERÍA LUEGO DEL ENSAYO

En función del mapa de fisuras (fotografía. No. 6.1) resultado del ensayo, se realizó una exploración minuciosa y consiente de la fisura de falla de la mampostería para analizar lo que había sucedido en cuanto a posibles motivos del agotamiento de la pared.

En la fotografía siguiente perteneciente a la parte superior izquierda de la mampostería, se puede observar que la grieta de falla se produce directamente en las unidades de arcilla, la resistencia en las juntas de mortero se incrementa, debido al aumento de los esfuerzos normales de compresión. Por lo tanto las grietas se producen en las unidades como resultado de los esfuerzos de tracción inducidos por los esfuerzos de compresión y cortante.



**Fotografía 6.2:** Grieta en esquina superior izquierda de la pared agotada.

De igual forma, la grieta de falla en la zona central de la mampostería, pasa por los ladrillos en dirección diagonal, exceptuando una pequeña parte en la cual se puede observar una falencia en la unión entre el mortero y la unidad (ver fotografía No. 6.3).



**Fotografía 6.3:** Grieta en parte central de la pared agotada.

En la zona inferior derecha de la mampostería, de forma similar, la grieta continúa por las unidades de arcilla, pero la dirección de la misma se acentúa tendiendo a una verticalidad, lo que es muestra de los grandes esfuerzos de compresión a los que esa parte de la pared en especial estuvo sometida durante la realización del ensayo.



**Fotografía 6.4:** Grieta en esquina inferior derecha de la pared agotada.

### **6.3. ENSAYO SOBRE LA MAMPOSTERÍA AGRIETADA REFORZADA**

#### **6.3.1. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS**

Al igual que en el primer ensayo realizado se aplicó una carga vertical de 7 t, que representa una mínima carga de uso. La primera fisura se presentó al aplicar una carga lateral de 14.8 t. es decir el esfuerzo de corte producido fue de  $1.38 \text{ Kg/cm}^2$ , y una deformación lateral de 5.8 mm. medida en la viga de solera, dichas grietas se presentaron en una zona cercana a la ubicación de los apoyos antideslizantes y tienden a ser horizontales. La deriva producida en ese momento del ensayo fue de 0,0024

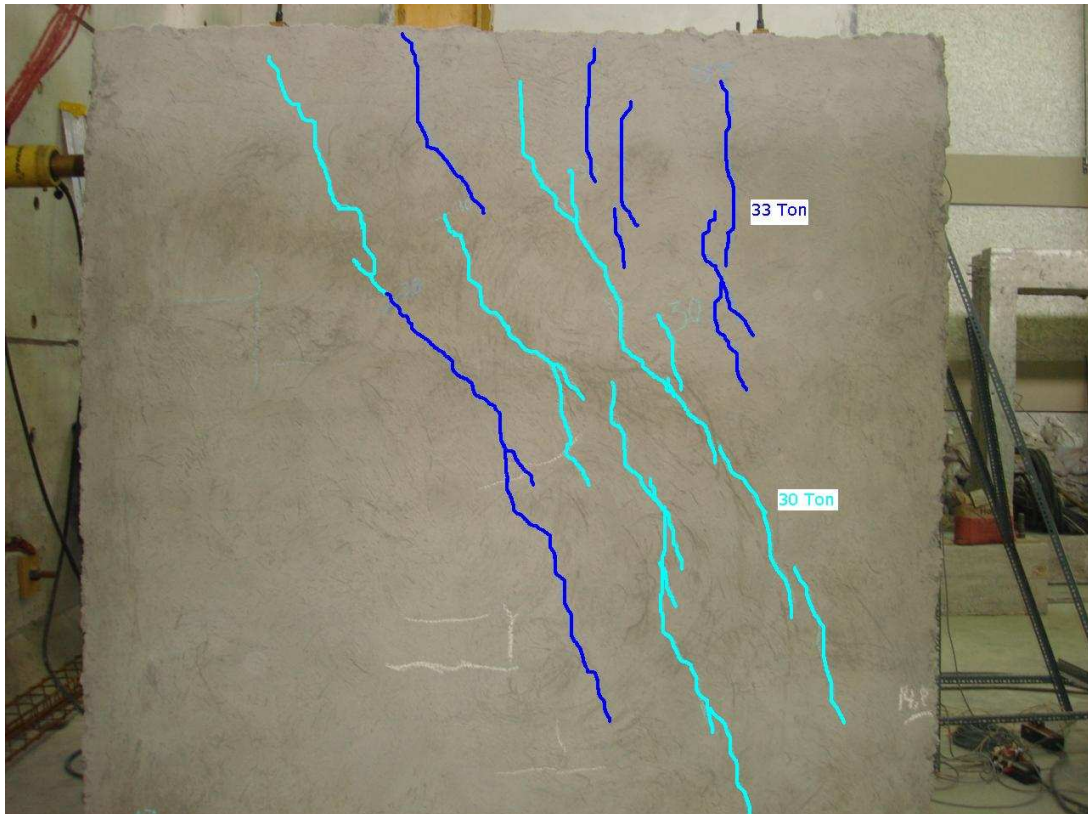
Al continuar el ensayo, las grietas antes mencionadas aumentaron su longitud y espesor, debido al volcamiento que producía la aplicación de carga lateral, a más de estas grietas no se presentó ninguna otra en la diagonal de la mampostería. El efecto principal y único visible durante esta etapa del ensayo es el levantamiento de la mampostería respecto a la losa de reacción del laboratorio, es así, que se produjo un levantamiento de 2 cm al aplicar 23.7 t.

En el estado de carga lateral de 30 t, se presentan las primeras grietas en la zona de la diagonal de la mampostería, estas grietas son de longitud muy pequeña y espesor mínimo.

Al aplicar una carga lateral de 33.14 t. y una carga vertical de 20.8 t, las grietas se hacen considerablemente más grandes tanto en su longitud como en su espesor, aparecen grietas en la parte interna de la pared, mostrándose estas en los ladrillos externos o de los bordes, en la parte inferior sometida a compresión. El enchape juntamente con la malla electrosoldada empiezan a separarse de la mampostería, a pandearse dada la flexibilidad de la malla. Al no ser capaz de resistir más carga lateral ni la mampostería ni el refuerzo suministrado termina el

ensayo, con una deformación máxima en la viga superior de 26.07 mm. y un deslizamiento en la base de 4.88 mm.

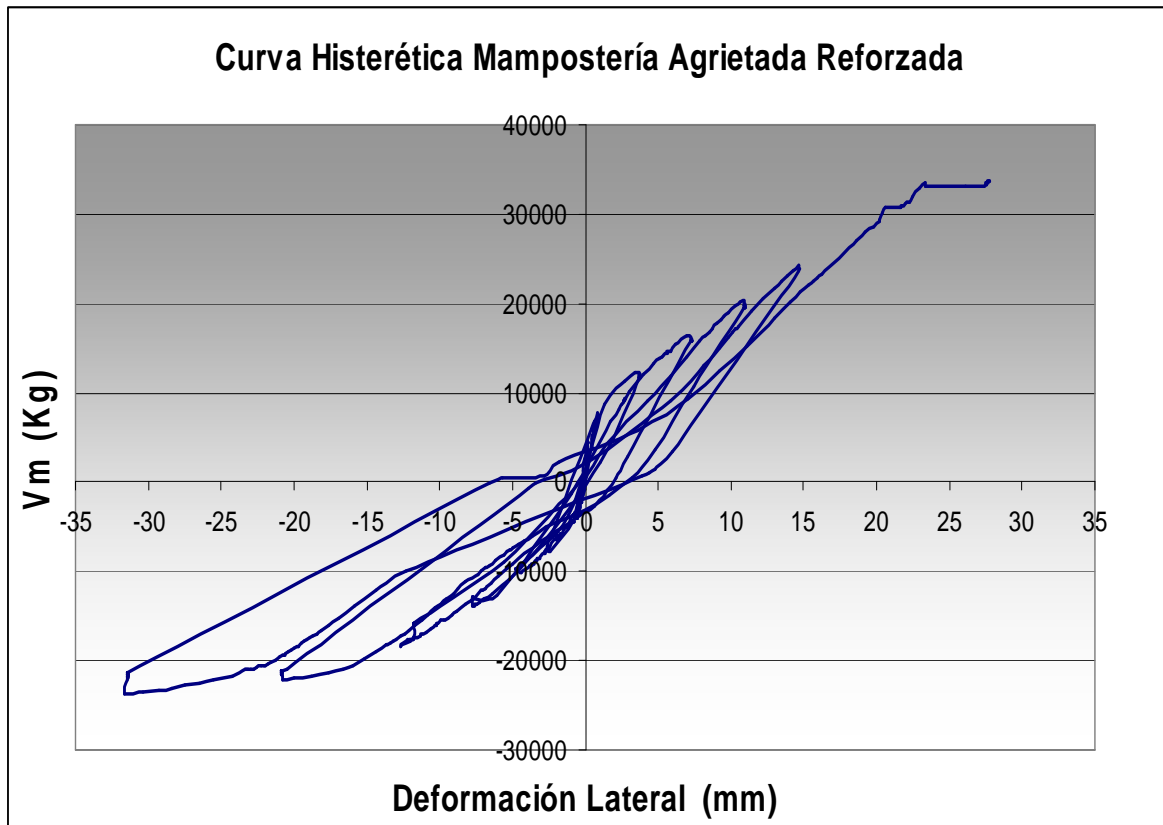
El esfuerzo máximo producido por corte fue de  $3,09 \text{ Kg/cm}^2$ , por compresión de  $1.94 \text{ Kg/cm}^2$ , y la deriva última fue de 0.0088



**Fotografía 6.5:** Pared agotada, fin del ensayo

Con los datos obtenidos del ensayo de la mampostería se obtuvo la curva histerética, en donde se puede apreciar el comportamiento de la pared durante todo el ensayo, mostrando como carga máxima el valor de 33.14 t. y una deformación de 26.07 mm correspondiente al instante de falla de la mampostería.

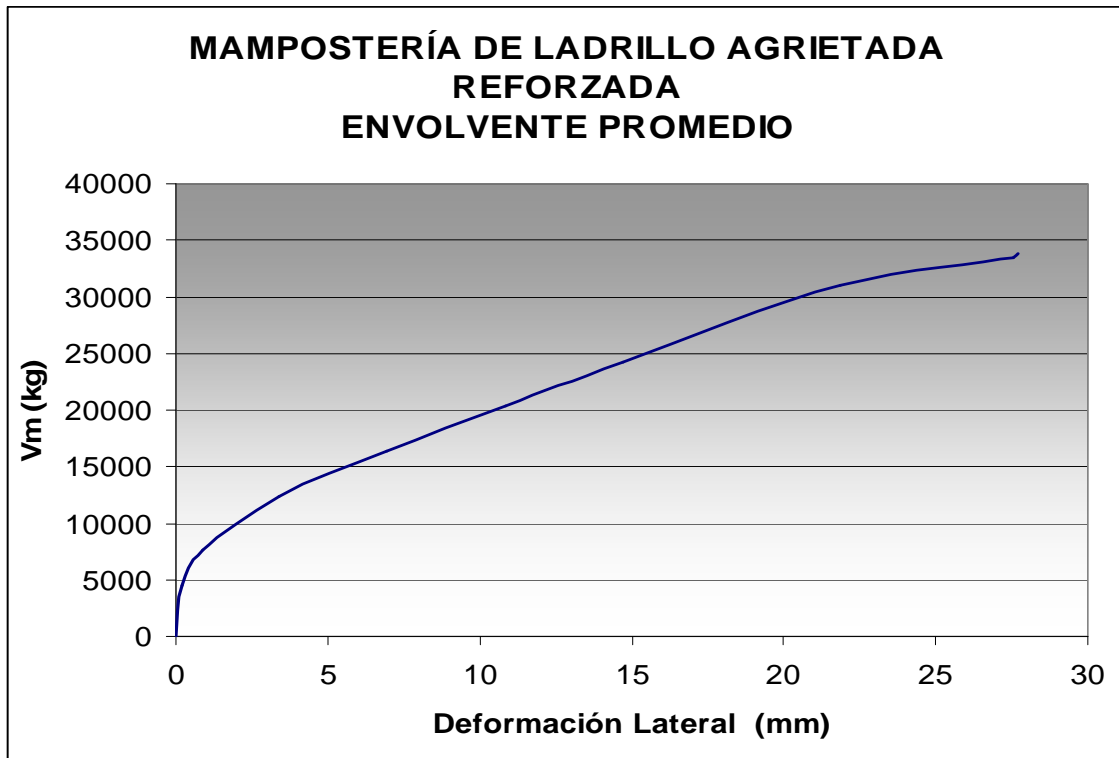
**Gráfico 6.4:** Diagrama histerético (deformación en viga superior)



**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

Además se obtuvo la gráfica de la envolvente de carga, en la cual, mediante el método basado en la equivalencia de absorción de energía, descrito anteriormente, se determina el límite elástico a las 27.77 t. de carga con una deformación de fluencia ( $\delta_y$ ) de 19.07 mm (esfuerzo de fluencia de  $2.59 \text{ Kg/cm}^2$ ), y la deformación última ( $\delta_u$ ) correspondiente es de 26,07 mm a la aplicación de la carga última de 33.14 t.

**Gráfico 6.5:** Curva envolvente promedio de Carga y Deformación alcanzados en ambos sentidos, resultado de la experimentación.

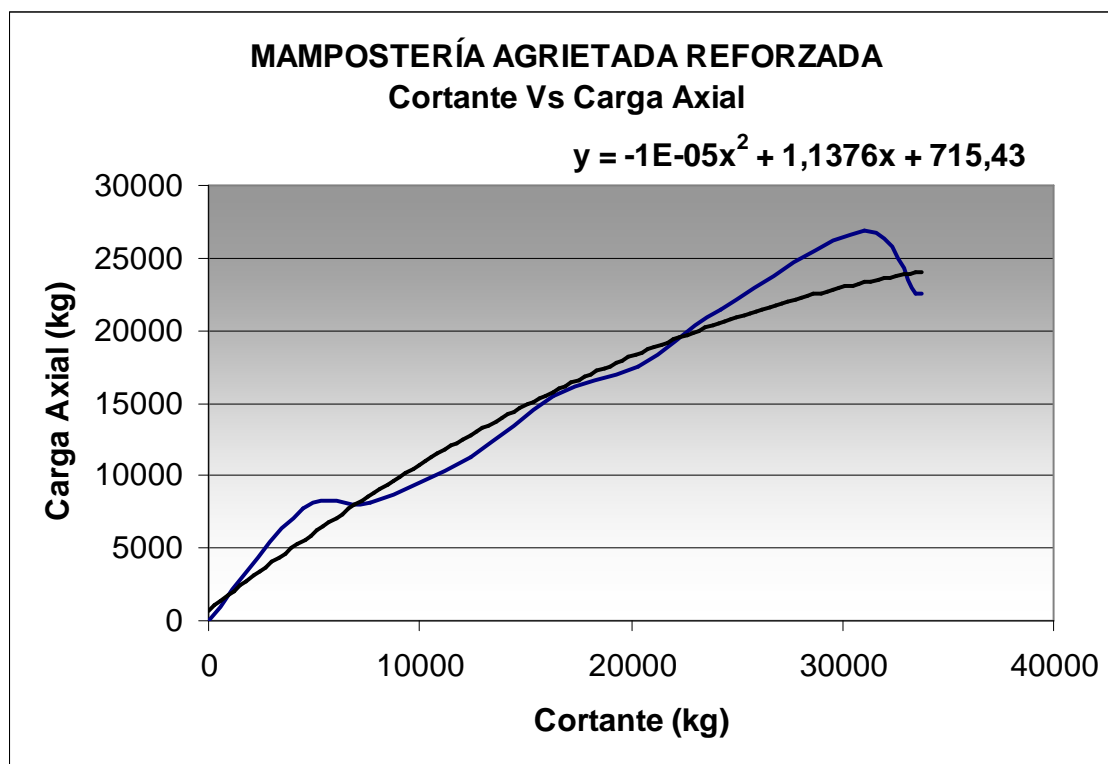


**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

Del análisis de la curva envolvente se determina  $\mu = 1.45$  aproximadamente.

De igual forma que en el estado anterior de la mampostería es decir sin reforzamiento se produce un incremento conjunto de la carga axial vertical con la carga lateral, en otras palabras para cada estado de fuerza lateral (cortante) le corresponde un único valor de fuerza axial vertical.

**Gráfico 6.6:** Curva Cortante vs. Carga Axial, línea de tendencia y fórmula.



**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

### 6.3.2. EXPLORACIÓN DE LA MAMPOSTERÍA LUEGO DEL ENSAYO

En función del mapa de fisuras resultado del ensayo (fotografía No. 6.5), se realizó una exploración minuciosa y conciente de las grietas de falla de la mampostería para analizar lo que había sucedido en cuanto a posibles motivos del agotamiento de la pared.

Realizando una inspección a simple vista de la pared, es posible determinar que algunas de las grietas, en este caso, las ubicadas en la parte superior y que tienen una clara tendencia hacia la verticalidad, se forman por los esfuerzos de compresión debido a su cercanía a la zona de aplicación de la carga vertical (ver fotografía No. 6.5)

Las grietas con tendencia a la diagonal de la pared son consecuencia de los esfuerzos de compresión y cortante a los que la mampostería fue sometida.



Para poder observar lo que había pasado dentro de la mampostería fue necesario despojar del enchape a la pared, esto se realizó en la parte más comprometida del panel (zona inferior derecha), ya que a simple viste era notoriamente la más afectada.



**Fotografía 6.6:** Procedimiento de retiro del enchape para verificación de grietas.

De la observación interna de la mampostería podemos decir lo siguiente:

Las grietas que se presentaron en el enchape de refuerzo, presentan la misma tendencia en ubicación y dirección que las formadas en el primer ensayo de la mampostería sin refuerzo. (ver fotografía No. 6.7)

La grieta de falla de la mampostería no presentó ningún aumento en su longitud ni en su espesor y los ladrillos no presentaron mayor degradación a pesar del considerable aumento de carga lateral aplicado, esto se debe a que una vez terminada la resistencia de la mampostería propiamente dicha, empieza de inmediato a trabajar el enchape y la malla de refuerzo colocada.



**Fotografía 6.7:** Mampostería descubierta no presenta agrietamiento masivo en las unidades cercanas a la grieta de falla.

La franja en la diagonal en donde se presenta el agrietamiento tiene un ancho de 70 cm. Aproximadamente, como se puede apreciar en la fotografía anterior.

Es importante mencionar que el alambre galvanizado que sirvió como conector entre las dos mallas electrosoldadas en cada cara lateral de la mampostería, después de haber realizado la inspección de grietas aún se encontraba sujeto a dichas mallas, es decir cumplió su función a cabalidad.

## **6.4. ENSAYO SOBRE LA MAMPOSTERÍA REFORZADA**

### **6.4.1. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS**

Al igual que en los dos ensayos anteriores, inicialmente se proporcionó una carga axial vertical de 7 t. la que representa una carga mínima de uso. La primera fisura se presentó al aplicar una carga de -18 t. la cual produjo que la carga axial vertical aumente hasta el valor de 15 t., El esfuerzo de corte al cual estuvo sometida la pared durante la aparición de estas grietas horizontales fue de  $1.68 \text{ kg/cm}^2$ , se

presentó una deformación lateral de 6.18 mm. medida en la viga de solera, dichas grietas se presentaron en una zona cercana a la ubicación de los apoyos antideslizantes y tienden a ser horizontales.

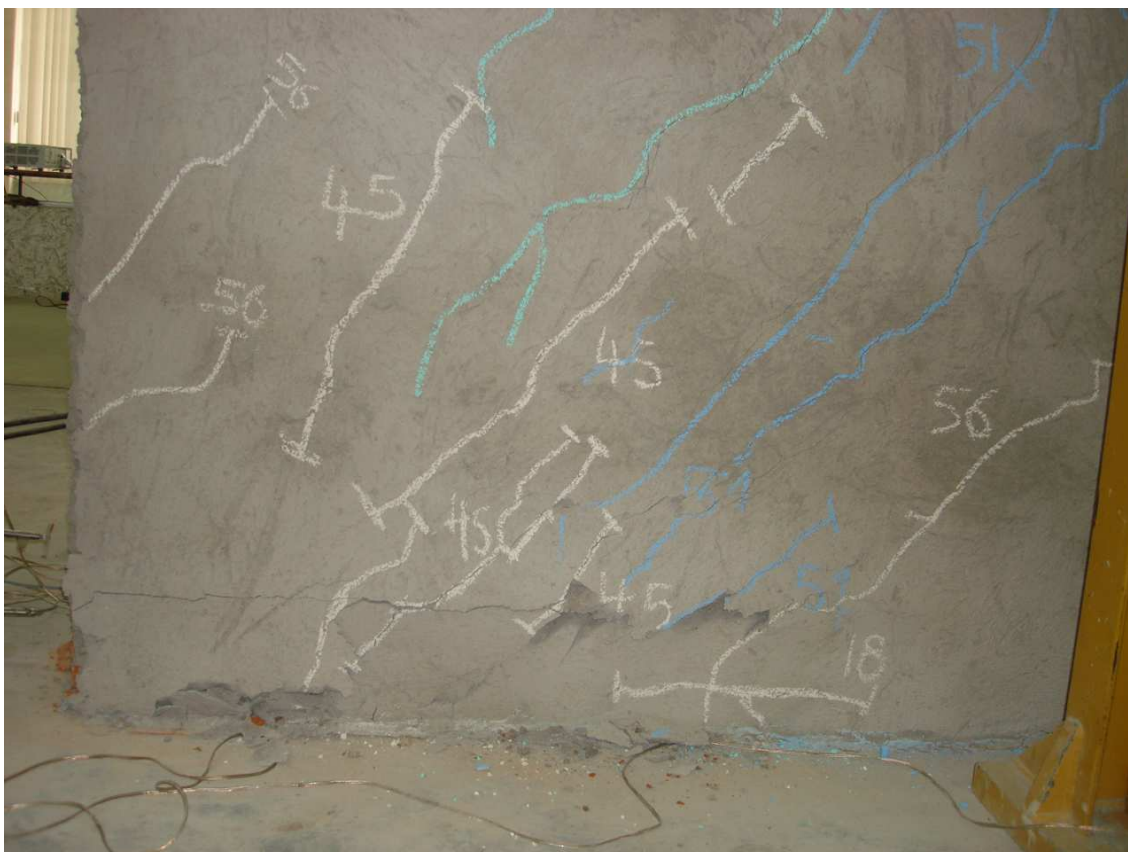
Al continuar el ensayo, se incrementa la carga lateral aplicada, esto produce un aumento en la carga axial vertical. Las grietas antes mencionadas aumentan su longitud y espesor, debido al volcamiento que produce la aplicación de carga lateral. A más de estas grietas no se presentó ninguna otra en la diagonal de la mampostería, el efecto principal y único visible al igual que en el ensayo anterior durante esta etapa es el levantamiento de la mampostería respecto a la losa de reacción del laboratorio. En el estado de carga de 40 t., se presentan las primeras grietas en la zona de la diagonal de la mampostería, y la deformación correspondiente fue de 18.78 mm. en la viga de solera, el esfuerzo de corte al iniciar el agrietamiento fue de  $3.73 \text{ Kg/cm}^2$  y el esfuerzo de compresión producido por la carga vertical que en ese momento tenía el valor de 26.1 t, fue de  $2.43 \text{ Kg/cm}^2$ .

Al aplicar una carga de lateral de 45 t. las grietas se hacen considerablemente grandes tanto en su longitud como en su espesor. Aparecen nuevas grietas, que tienen la misma tendencia diagonal a las primeras. La deformación en la viga superior en ese momento fue de 25.16 mm.

El volcamiento cuando se aplica una carga lateral de 51 t., produce un levantamiento de 4 cm de la pared respecto a la base del laboratorio, en esta etapa del ensayo las grietas son considerablemente de mayor longitud y con una clara tendencia de seguir la diagonal de la pared de mampostería.

La resistencia final de esta mampostería fue de 52.42 t. de carga lateral y de 29.3 t. de carga axial vertical, estas fuerza tanto horizontal como vertical produjeron los esfuerzos máximos de corte y compresión de  $4.89 \text{ Kg/cm}^2$  y de  $2.74 \text{ Kg/cm}^2$  respectivamente, con una deformación en la parte superior de 41.72 mm., lo que representa una deriva máxima de 0.011.

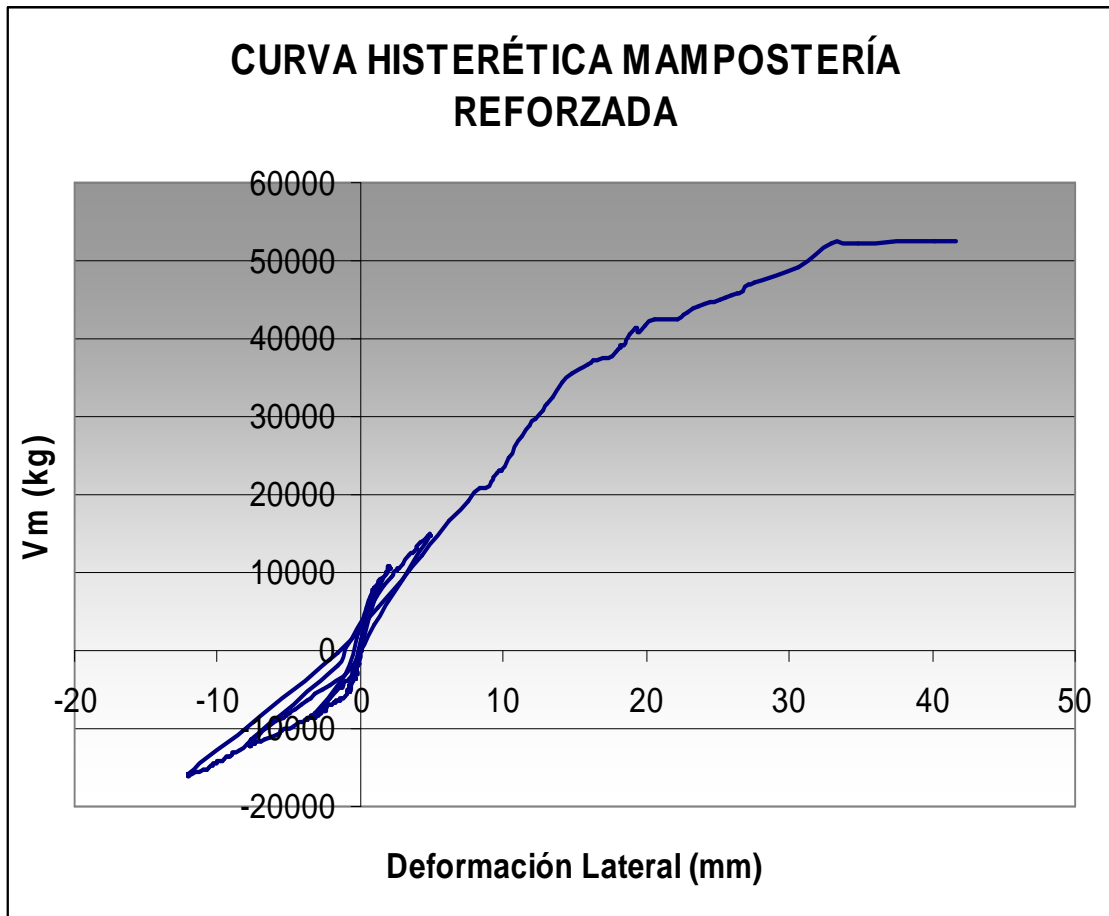
Se decide dar por terminado el ensayo porque el enchape de la pared estaba completamente agrietado y se desprendía con mucha facilidad, quedando la malla electrosoldada expuesta. Los ladrillos en la zona de compresión se encontraron agrietados hasta una altura de 36cm. desde la base. Al retirar la carga lateral estos mampuestos completamente agrietados se desprenden por acción de la gravedad.



**Fotografía 6.8:** Pared agotada, fin del ensayo

Con los datos obtenidos del ensayo de la mampostería se obtuvo la curva histerética, en donde se puede apreciar el comportamiento de la pared durante todo el ensayo, mostrando como carga máxima el valor de 52.42 t. y una deformación final de 41.72 mm correspondiente al instante de falla de la mampostería.

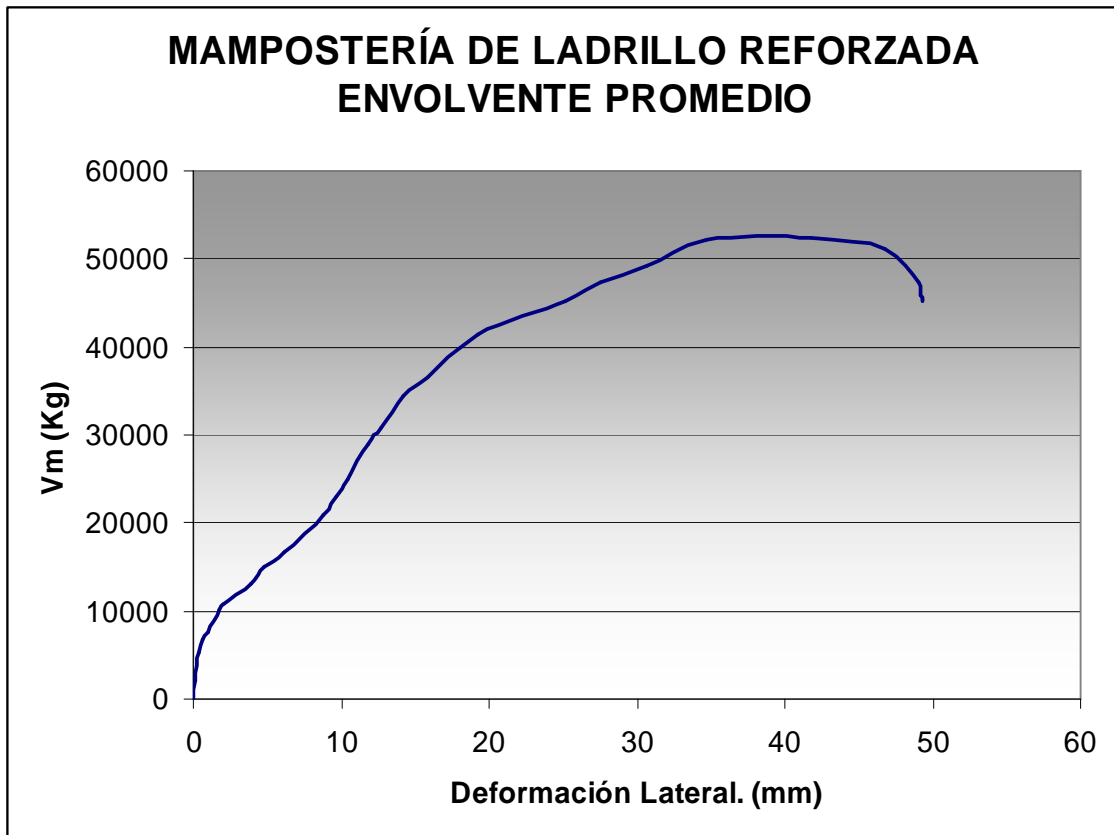
**Gráfico 6.7:** Diagrama histerético (deformación en viga superior)



**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

Además se obtuvo la gráfica de la envolvente de carga, en la cual, mediante el método basado en la equivalencia de absorción de energía, descrito anteriormente, se determina el límite elástico a las 48.72 t de carga con una deformación de fluencia ( $\delta_y$ ) de 27.77 mm, y la deformación última ( $\delta_u$ ) correspondiente es de 41.72 mm a la aplicación de la carga máxima de 52.72 t.

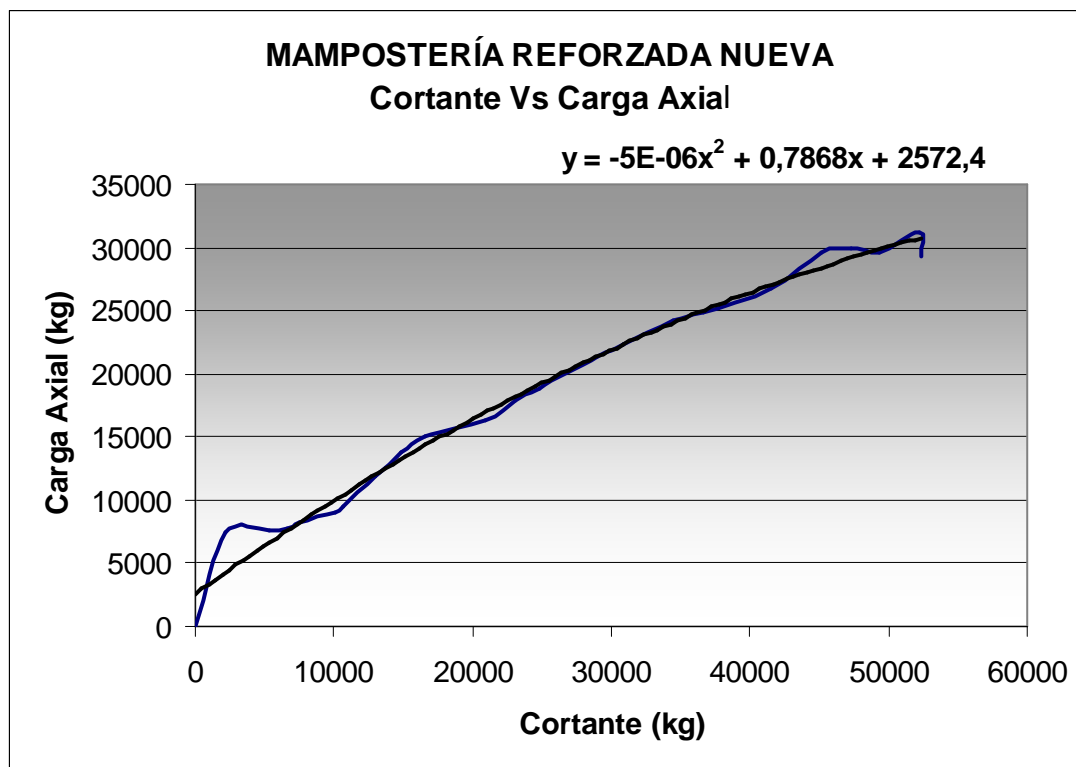
**Gráfico 6.8:** Curva envolvente promedio de Carga y Deformación alcanzados en ambos sentidos, resultado de la experimentación.



**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

Del análisis de la curva envolvente se determina  $\mu = 1.50$  aproximadamente.

La resistencia de la mampostería al igual que en los estados anteriores depende también de la fuerza axial vertical proporcionada, es así que para cada valor de fuerza lateral le corresponde un valor único de fuerza axial vertical.

**Gráfico 6.9:** Curva Cortante vs. Carga Axial, línea de tendencia y fórmula

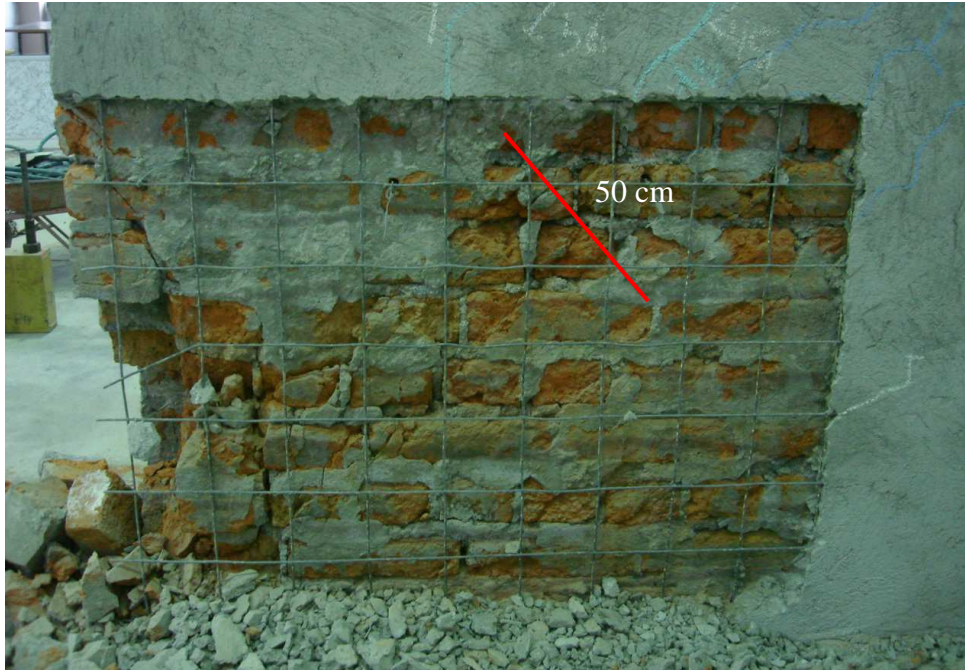
**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

#### 6.4.2. EXPLORACIÓN DE LA MAMPOSTERÍA LUEGO DEL ENSAYO

Después de haber realizado el ensayo sobre la mampostería reforzada, se procedió a una exploración minuciosa y consciente de las fisuras de falla, para analizar lo que había sucedido en cuanto a posibles motivos del agotamiento de la pared.

Realizando una inspección a simple vista de la pared, es posible determinar que las grietas formadas tienen igual origen que en las experiencias anteriores, esto es por una combinación entre los esfuerzos de compresión y cortante.

En este caso después de haber despojado del enchape de refuerzo, se pudo observar que los ladrillos ubicados dentro de la franja diagonal estaban completamente triturados debido a los esfuerzos a los que estuvieron sometidos, la franja de compresión tenía un ancho de 50 cm. aproximadamente.



**Fotografía 6.9:** Muestra de las unidades de mampostería completamente fragmentadas en la zona de agrietamiento.

Es importante mencionar que los conectores entre las mallas electrosoldadas colocadas (alambre galvanizado), cumplieron su propósito hasta el final, ya que en esta inspección se encontró alambre aún amarrado entre las mallas, a pesar del pandeo de las mismas, producido hacia el final de la prueba.



**Fotografía 6.10:** Alambre galvanizado en su posición original aún después de haber concluido el ensayo.





**Fotografía 6.11:** Malla electrosoldada deformada por pandeo durante la realización del ensayo, vínculo aún amarrado a la malla de refuerzo.

## **6.5. COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PAREDES DE MAMPOSTERÍA EN LOS TRES ESTADOS INVESTIGADOS**

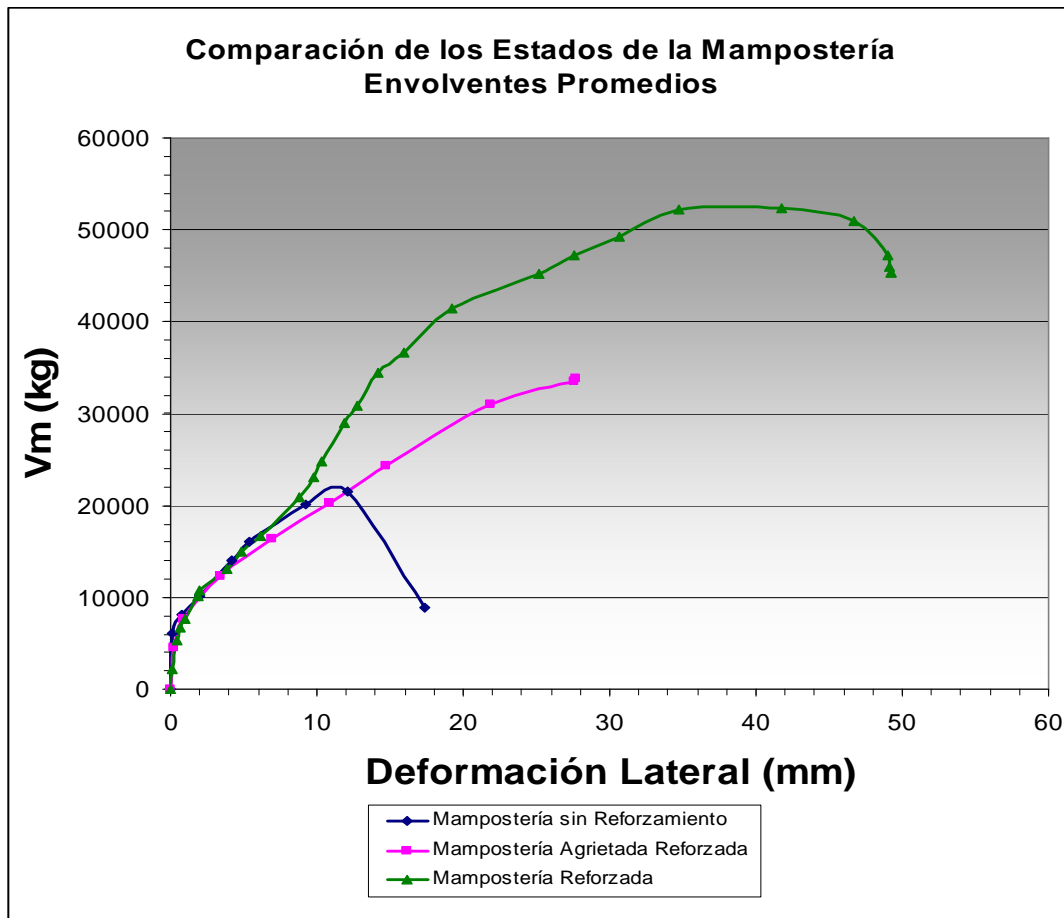
Como uno de los objetivos fundamentales de esta investigación, a continuación se detallan las diferencias presentes en el comportamiento en cada estado de la pared ante la aplicación de carga lateral cíclica. Se notarán las diferencias entre la pared de mampostería sin enchape de refuerzo, la misma mampostería una vez reforzada, y la mampostería reforzada sin agrietamiento.

Cabe recalcar que el objetivo principal de la investigación es la evaluación de la eficiencia del reforzamiento de una mampostería agrietada con respecto a una de similares características de reforzamiento nueva; es decir, sin ninguna clase de agrietamiento previo. Como base para el análisis se ensayó la mampostería original sin ningún reforzamiento y sin duda alguna es importante conocer sus propiedades mecánicas y comportamiento ante cargas sísmicas, por tanto la comparación se realizará entre los tres estados de la mampostería.

- El primer tipo de grieta se presentó a bajas solicitaciones, y es de tipo horizontal cercana a los apoyos, estuvo presente en los tres estados de la mampostería. En la original sin refuerzo se presentó al aplicar una carga lateral de  $-6$  t con un desplazamiento en la base de  $-0.011$  mm, en la agrietada reforzada, la misma grieta se presentó con una carga lateral de  $14.8$  t., y un desplazamiento en la base de  $0.34$  mm y por último dicha grieta se presentó en la pared reforzada nueva con una carga lateral de  $-18$  t. y el desplazamiento en la base fue de  $1.51$  mm.
- Las deformaciones en la viga de solera en el instante de aparición de la grieta horizontal para los tres estados fue de,  $2.95$  mm en la mampostería original sin refuerzo, de  $5.38$  mm. en la agrietada reforzada y de  $6.18$  mm. en la pared reforzada nueva.
- La diferencia más grande respecto al comportamiento de la mampostería original sin reforzamiento con las reforzadas, es la aparición de la grieta de falla de forma instantánea, es decir, se produce una falla frágil al alcanzar las  $21.56$  t. de carga lateral. Este tipo de falla ocurre debido a la menor tolerancia a la deformación que presenta esta pared, lo que se consiguió mejorar de gran forma al rehabilitarla con el enchape y la malla electrosoldada presentes en los dos estados restantes de la mampostería ensayada. Cuya característica principal fue el aumento de la resistencia y la aparición de grietas de forma gradual en el enchape de refuerzo.
- Debido al agotamiento en forma frágil de la mampostería sin reforzamiento, se realiza una comparación entre la progresiva aparición de grietas solo entre la mampostería agrietada reforzada y la reforzada nueva. Las primeras grietas en la zona diagonal de la pared agrietada rehabilitada aparecen al alcanzar las  $30$  t. y aumentan hasta llegar a la resistencia máxima de  $33.145$  t. En el caso de la reforzada nueva, las primeras grietas en esta zona aparecen al aplicar una carga lateral de  $40$  t. hasta llegar a una resistencia última de  $52.42$  t.

- La deformación máxima medida en la viga de solera en cada estado de la mampostería fueron, de 12.07 mm en la mampostería original sin reforzamiento, de 26.07 mm en la agrietada reforzada y por último de 33,0 mm en la mampostería reforzada nueva.
- Los deslizamientos máximos en la base de la pared de mampostería fueron de, 0.98 mm en la mampostería original sin reforzamiento, de 4.88 mm en la agrietada reforzada y por último de 14.39 mm en la reforzada nueva.
- De los diagramas histeréticos de cada estado de la mampostería se puede decir que la forma de los lazos con los cuales se desarrolla la curva son similares en los tres estados, es decir que el proceso de disipación de energía se basa en la degradación de la rigidez de la mampostería, esto se debe a su comportamiento no lineal.
- El comportamiento de la mampostería en sus tres estados, muestra gran similitud durante la aplicación de carga lateral baja, esto se demuestra al realizar una grafica comparativa de sus envolventes promedio (ver gráfico 6.10). Se nota claramente la una tendencia similar en el comportamiento entre la mampostería sin reforzamiento y la reforzada nueva hasta el valor de 18 t., este valor es igual al 80% de la carga total resistida por la mampostería en su primer estado, por lo tanto es posible afirmar que a partir de este punto empieza a trabajar el reforzamiento y la mampostería propiamente dicha de forma combinada. De igual forma, el comportamiento de la mampostería agrietada reforzada es similar, pero solo hasta las 11 t., debido a que en este estado la mampostería ya cuenta solo con su resistencia residual, proveniente principalmente a causa de la carga vertical aplicada, pero funciona como un medio de enlace entre cada cara del enchape de refuerzo.

**Gráfico 6.10:** Comparación de envoltentes de los tres estados de la Mampostería en análisis.

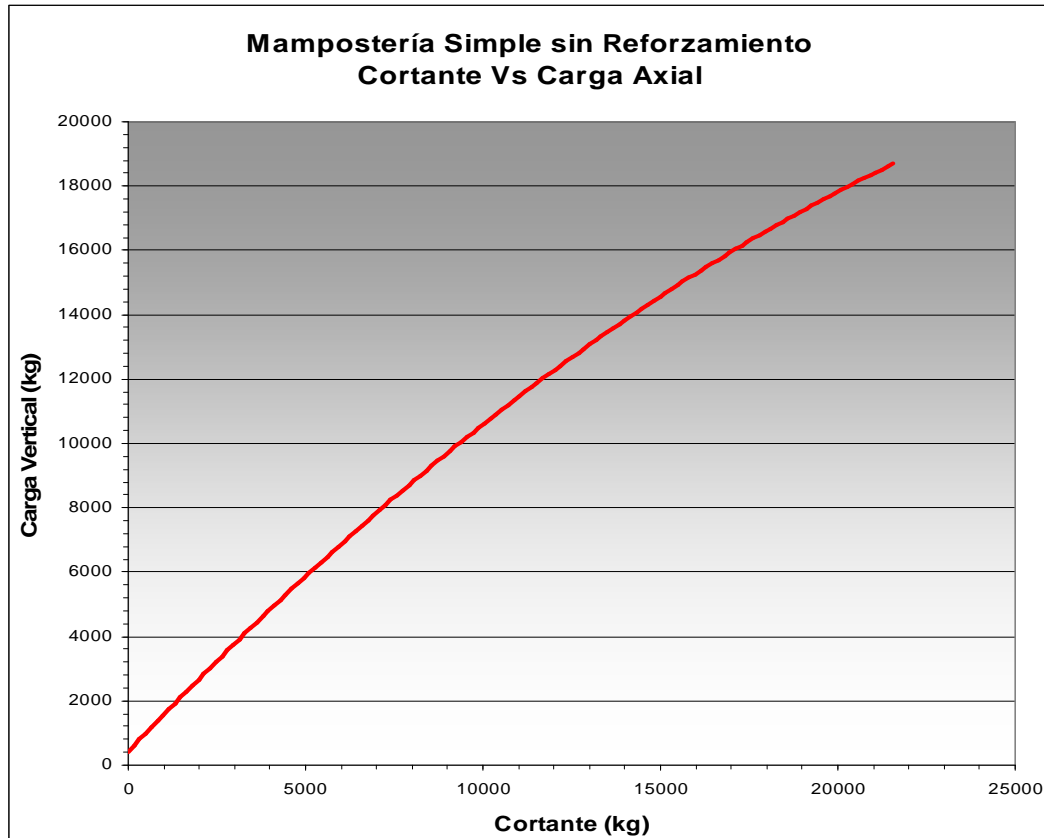


**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

- La ductilidad en los tres estados de la mampostería muestra valores bastante similares, aunque para tener una idea de lo que este factor de ductilidad representa se debe conocer la deformación máxima de cada una de las paredes probadas, es decir, es una proporción del rango elástico o de la deformación de fluencia respecto a la deformación máxima posible, es así que tenemos entre un 50% y 64% de ductilidad una vez terminado el rango elástico de la mampostería, lo que comparado con el hormigón armado en una viga que puede tener valores de 1000%, es despreciable.
- Debido a que la fuerza axial aplicada aumenta la resistencia a corte, la siguiente gráfica muestra la resistencia a cortante en relación a la fuerza axial aplicada en la mampostería en su primer estado, es decir sin

reforzamiento alguno, con el fin de obtener el valor mínimo de carga axial vertical para obtener la máxima resistencia a cargas laterales.

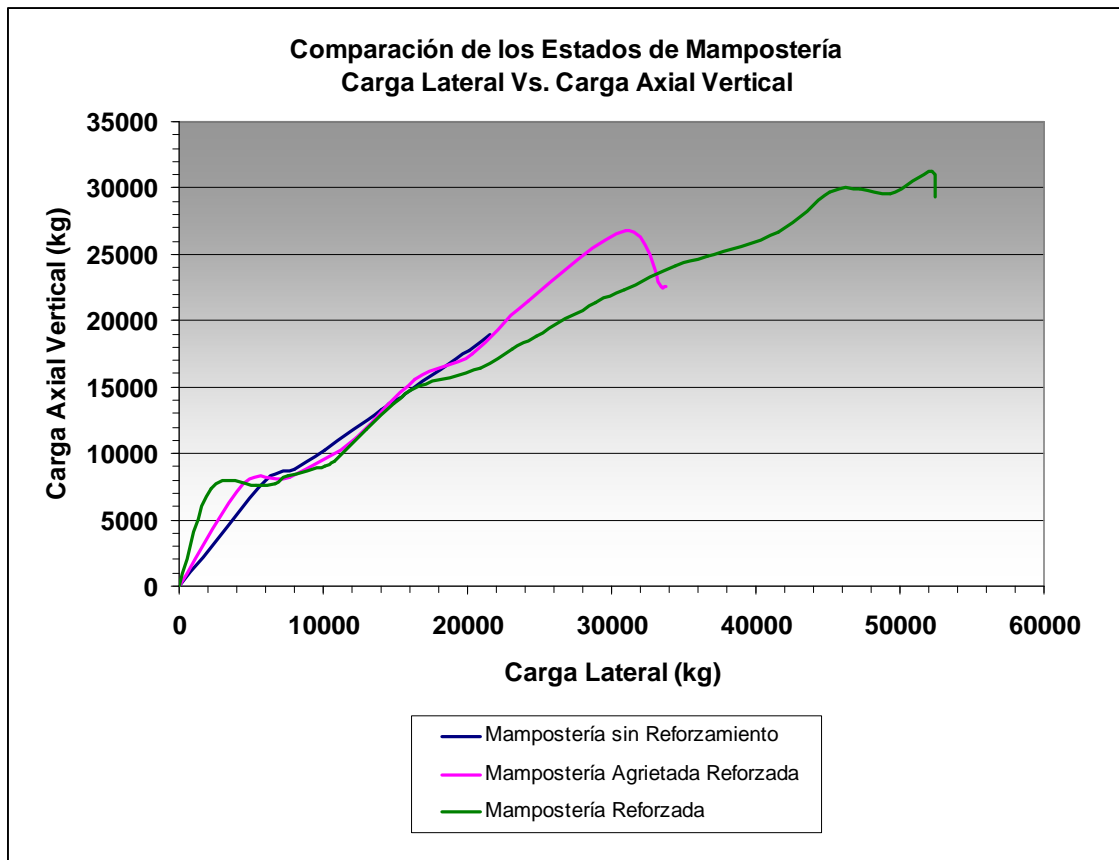
**Gráfico 6.11:** Carga Vertical Mínima para obtener la máxima resistencia a cortante en la mampostería sin reforzamiento



**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

- En la siguiente gráfica podemos notar la variación de la carga axial vertical con relación de la carga lateral aplicada en los tres estados de la mampostería investigada, se puede observar que, para el mismo valor de carga lateral aplicada la carga axial vertical es bastante similar en los tres estados de la mampostería.

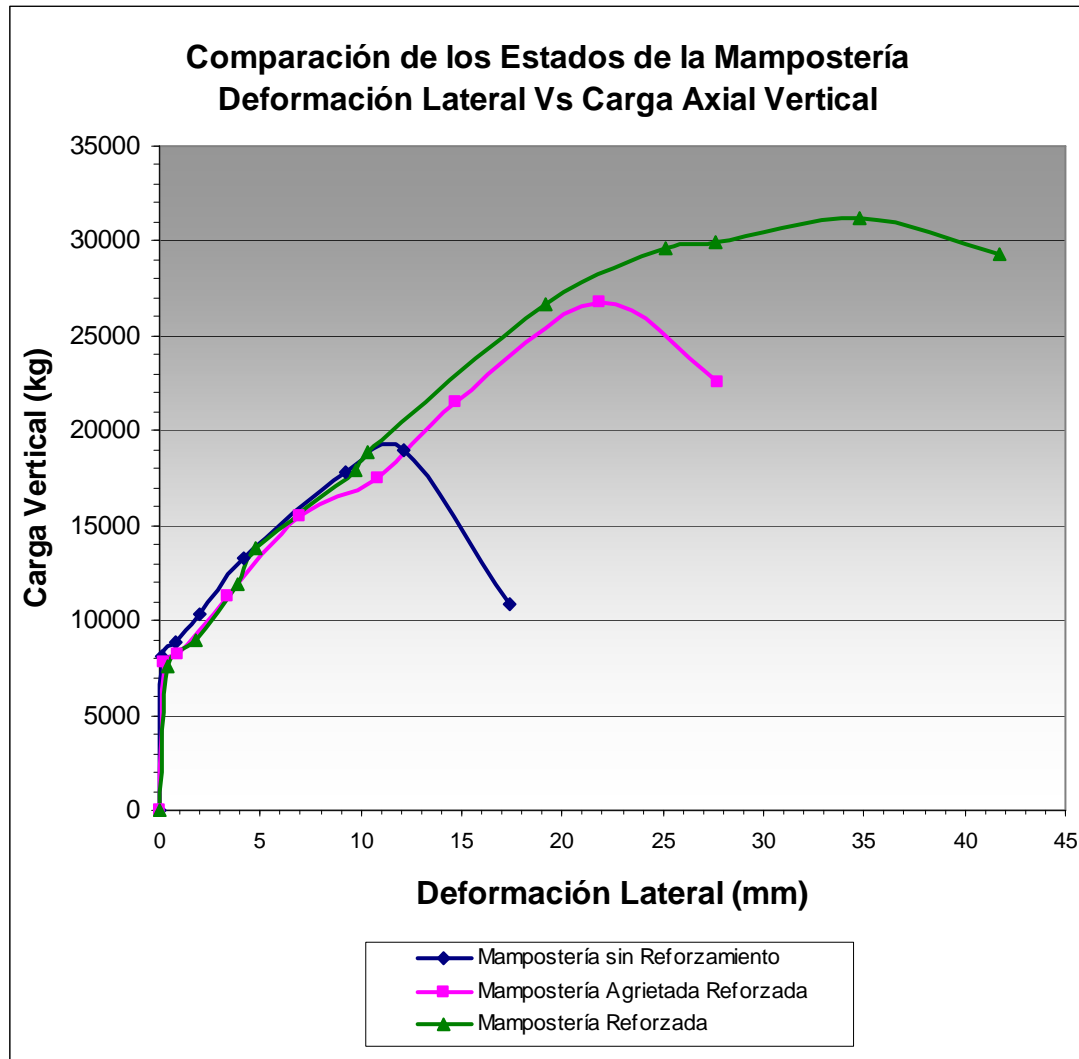
**Gráfico 6.12:** Curvas Carga Lateral Vs. Carga Axial vertical de los tres estados de la Mampostería en análisis.



**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

- Otra tendencia muy importante que debemos notar en el comportamiento de la mampostería durante la realización de las pruebas de laboratorio, es la relación que se presenta entre el desplazamiento lateral y el incremento de carga axial vertical sobre la pared, en donde analizando los datos obtenidos, se nota que para un mismo desplazamiento o deformación lateral medida, corresponde un valor de carga axial en los tres ensayos.

**Gráfica 6.13:** Tendencia similar de las curvas carga Axial Vs. Deformación Lateral.



**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

Es así que se obtiene la siguiente expresión basados en la curva de tendencia obtenida de los tres ensayos realizados:

$$C_v = -23\sigma^2 + 1538.2\sigma + 5225.7 \quad (6.2)$$

En donde:

$C_v$  = Carga axial Vertical en Kg.

$\sigma$  = Es la deformación Lateral en mm.

Esta expresión presentada solo es válida para el tipo de mampostería presentada en esta investigación y para el mismo tipo de ensayo, sirviendo como una gran herramienta en el caso de investigaciones futuras en la cual se busquen otros tipos de reforzamiento.

- En la siguiente tabla se hace una comparación de la rigidez de la mampostería en los tres diferentes estados de análisis. La rigidez es variable debido a la carga lateral aplicada también lo es, lo que produce deformaciones diferentes a cada instante de realización de la prueba, mostrando en la última línea la rigidez final o de falla de cada una de ellas.

**Tabla 6.1:** Comparación de rigidez, en los tres estados de la mampostería.

Carga Lateral (kg)	COMPARACIÓN DE RIGIDEZ (T/m)		
	M. Sin Reforzamiento	M. Agrietada Reforzada	M. Reforzada Nueva
6000	9804	8800	9143
8000	8583	6358	8360
10000	5452	5612	6248
12000	4155	3644	4696
14000	3529	2823	3926
16000	3133	2472	3426
18500	2804	2203	3172
20000	2337	2082	3056
22000	-----	1935	2511
24000	-----	1954	2491
27000	-----	1932	2598
30000	-----	1653	2593
34000	-----	-----	2670
38000	-----	-----	2489
42000	-----	-----	2432
46000	-----	-----	2205
52000	-----	-----	2209
<b>Final</b>	1945	1454	1918

**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

La principal diferencia de los tres estados de la mampostería, es la resistencia final, por lo tanto, para tener una idea clara de lo que el valor de rigidez indica, se debe tomar en cuenta la carga lateral aplicada. Es así, que si bien es cierto la mampostería en el segundo estado presenta la rigidez residual menor, también



indica que resistió hasta 33.15 t, que es 11.59 t más que la mampostería original y admitió 26,07 mm de deformación hasta su colapso.

Al comparar la mampostería en el tercer estado, con la original, se puede observar que la rigidez residual es prácticamente la misma, pero la carga lateral aplicada sobre la pared reforzada es de 52,42 t que es el doble de la carga última en la mampostería original sin enchape.

## **6.6 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO**

En esta primera parte se indica los valores de los rubros durante la fase de construcción de la mampostería, dichos rubros están referidos a Publicaciones de la Cámara de la Construcción de Quito, (Mayo del 2008).

En la tabla No. 6.3, se indica los valores y cantidades correspondientes a la fase de construcción de mampostería simple (sin reforzamiento), en donde los valores por concepto de acero de refuerzo y hormigón en vigas son valores indicativos necesarios para la investigación, esto ítems no están presentes en una estructura real, porque está viga no existe sobre las paredes de mampostería, y en este caso se la utiliza necesariamente para transmitir uniformemente la carga de ensayo.

En la tabla 6.4, se indica los valores y cantidades del enchape de refuerzo.

**Tabla 6.2:** Rubros referenciales.

<b>Código</b>	<b>Rubro</b>	<b>Unidad</b>	<b>C. Directo</b>	<b>C. Material</b>	<b>M. Obra</b>
1	Mampostería de Ladrillo (traba inglesa)*	m2	21,42	15,9	5,52
2	Acero de refuerzo 8-12 mm (con alambre galvanizado. No. 18).	kg	1,88	1,69	0,19
3	Acero de refuerzo 14-32 mm (con alambre galvanizado. No. 18).	kg	1,83	1,64	0,19
4	Hormigón en vigas 0.30 x 0.35, f'c=210 kg/cm2 Equipo: concretera 1 saco. Encofrado con tablero contrachapado	m3	193,83	144,07	42,28
5	Revocado de la mampostería	m2	1,84	0,6	1,17
6	Malla electrosoldada 5mm a 15 cm	m2	3,84	3,55	0,29
7	Enchape exterior e=3,0cm*	m2	5,79	1,99	3,8

Los ítems marcados con \*, son los valores reales tomados durante la construcción de la mampostería.

**Tabla 6.3:** Cantidades y precios de la construcción de mampostería (Mampostería sin reforzamiento).

Costos por pared (2.55\*2.55m), incluye viga superior.

<b>Código</b>	<b>Rubro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
1	Mampostería de Ladrillo (traba inglesa)	m2	5,74	122,90
2	Acero de refuerzo 8-12 mm (con alambre galvanizado. No. 18).	kg	15,37	28,90
3	Acero de refuerzo 14-32 mm (con alambre galvanizado. No. 18).	kg	2,30	4,21
4	Hormigón en vigas 0.30 x 0.35, f'c=210 kg/cm2 Equipo: concretera 1 saco. Encofrado con tablero contrachapado	m3	2,98	144,07
<b>Total</b>				<b>300,08</b>

**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

**Tabla 6.4:** Cantidades y precios del reforzamiento de la mampostería.

Costo por pared (2.55\*2.50 m) incluye viga superior.

<b>Código</b>	<b>Rubro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
5	Malla electrosoldada 5mm a 15 cm	m2	12,24	47,00
6	Enchape exterior e=3,0cm	m2	13,01	75,30
<b>Total</b>				<b>122,30</b>

**Elaboración:** Gustavo Angulo, Carlos López.

Del análisis presentado, se observa que realizar un reforzamiento de una estructura mediante este método representa un costo igual al de la construcción de la mampostería simple, y se obtiene un beneficio del aumento de resistencia a cargas laterales de 143.1% en el caso que este reforzamiento se lo realice sobre una mampostería nueva y del 53.7% en el caso de reforzar una mampostería dañada o agrietada, también se obtiene un beneficio en la resistencia a la compresión producida por cargas gravitacionales del 54.4% en el primer caso y del 19 % para el segundo.

Tomando en consideración el valor total de la estructura, que en la actualidad en promedio oscila por los 400 \$/m<sup>2</sup> de construcción y la rehabilitación de la mampostería mediante este sistema tiene un costo de 20,43 \$/m<sup>2</sup> es evidente que el valor de la inversión en porcentaje tan solo representa el 5% y se obtienen beneficios de aumento de resistencia como se indicó anteriormente entre el 143% y 53% según sea el estado de la mampostería, nueva o agrietada.

Por lo tanto, la rehabilitación aquí propuesta es económicamente rentable. Las estructuras en las que las solicitudes sean elevadas serán las mayormente beneficiadas, ya que el aumento de resistencia es considerablemente alto.

## **CAPÍTULO VII**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Ante el desconocimiento del comportamiento de la mampostería no reforzada, de la enorme importancia de los procesos constructivos, y de una completa práctica artesanal de reparación de las mismas, la presente investigación buscó identificar parámetros característicos y fundamentales del comportamiento de este tipo de mampostería antes y después de su reforzamiento, además trata de estimular nuevos estudios acerca de este tema poco estudiado en nuestro medio, pese a la gran importancia de la mampostería, en especial para el rescate de estructuras históricas de gran importancia turística y de identidad nacional.

En base a los objetivos propuestos en esta investigación, en la que se tiene como objetivo conocer acerca del comportamiento de la mampostería en los tres estados analizados; sin reforzamiento, agrietada reforzada y reforzada nueva, ante la presencia de una carga lateral que trate de representar la actividad del sismo en la realidad, luego de haber realizado los ensayos con el más riguroso control desde el inicio al fin de los mismos se pudo obtener las siguientes conclusiones y recomendaciones que serán de ayuda para futuras investigaciones

#### **7.1 CONCLUSIONES**

- El sistema constructivo tiene gran adaptación a cualquier tipo de espacio y la flexibilidad de la mampostería para tomar diferentes formas, son las cualidades arquitectónicas más reconocidas de este material.
- La primera fisura (horizontal) que se presentó durante la realización de todos los ensayos, es resultado de la flexión presente a bajas cargas de

compresión axial. Los efectos de flexión se ven reducidos al producirse el levantamiento de la pared respecto a la base, aunque para evitar dicho levantamiento en la prueba, se colocaron tensores en los extremos de la pared, fue imposible evitarlo en su totalidad, por lo tanto esta grieta tiende a cerrarse, es así que solo aumenta su magnitud hasta alcanzar el 40 % de la carga lateral máxima aplicada.

- En las gráficas *envolvente promedio* correspondientes a los tres estados de la mampostería, se puede apreciar un cambio en la pendiente de la curva, esto se da con la aparición de la grieta horizontal por flexión, por tanto no es considerada como un límite elástico o de fluencia de la mampostería.
- El valor del coeficiente de ductilidad ( $\mu$ ) de la mampostería probada, se encuentra entre los valores de 1.5 y 1.64, que como ya se mencionó en el capítulo 6, dichos valores indican que su ductilidad es despreciable o casi nula, inclusive al realizar el reforzamiento con el enchape y la malla electrosoldada, prácticamente el factor de ductilidad se mantuvo constante.
- El comportamiento de la mampostería sin reforzamiento durante su rango elástico es muy similar a la mampostería reforzada nueva; la pendiente de la curva *Carga Lateral vs. Deformación Lateral* así lo demuestra, lo que quiere decir que el enchape de refuerzo empieza a trabajar terminada la resistencia del ladrillo y no antes.
- El factor de ductilidad ( $\mu$ ) es una proporción de cuantas veces esta contenida la deformación de fluencia hasta llegar a la deformación máxima o de falla. La determinación de la deformación de fluencia en la mampostería en especial, debido a la no existencia de un cambio notable en la pendiente de la curva *Envolvente Promedio* de cada una de las paredes ensayadas, es un procedimiento aproximado y está sujeto a las apreciaciones del investigador durante la realización de la prueba, por lo tanto el valor calculado del factor de ductilidad ( $\mu$ ), también será

aproximado, de ahí la importancia de su análisis conjunto con la deformación máxima o de falla del espécimen ensayado.

- La falla producida en la mampostería sin reforzamiento es de tipo frágil y explosiva, lo que también demuestra una falta de ductilidad.
- De la forma de falla producida en la mampostería sin reforzamiento (fotografía No 6.1), se puede decir que es una falla clásica por tensión diagonal, en la cual es característico que la grieta atraviese las unidades de mampostería y tienda hacia la diagonal de la pared, sin embargo, en la parte inferior derecha se puede observar el efecto producido por la compresión por flexión, si bien en esta zona de la mampostería no se produjo el colapso este efecto se denuncia por la tendencia vertical de la grieta de falla.
- Comparando las deformaciones presentadas en la mampostería sin reforzamiento con las producidas en la agrietada reforzada, se verifica que las primeras son menores en un 20 %, esto se debe a que, la mampostería por si misma ya no es capaz de resistir fuerza lateral, y la totalidad de dicha carga es resistida por el enchape de refuerzo, esto se confirma al realizar una inspección a las grietas después del ensayo, como se puede apreciar en la fotografía No 6.6, después de retirar el enchape las grietas en el ladrillo no había aumentado en su magnitud.
- Al realizar el análisis empírico de la resistencia de la mampostería, se obtuvieron dos posibles resultados de cortante último, uno de 18,6 t. según la *Norma E-70 Albañilería*, y otro de 21.75 t. de acuerdo al *NSR-98*, como se indica en el acápite 3.5.4, este último no introduce los efectos de la carga axial vertical, contrario al primero. Al aplicar la ecuación 3.9, con la carga axial vertical máxima o de ruptura obtenida experimentalmente de 18.99 t, se obtiene un corte de 21.39 t. (Norma E-70 Albañilería), el cual comparado con la fuerza lateral de ruptura aplicada de 21.56 t. se puede decir que prácticamente son iguales, lo que indica que para el análisis la

ecuación presentada por la Norma E-70 Albañilería (Perú) de acuerdo a este caso en particular es la más eficiente, ya que introduce los efectos de la carga axial vertical sobre la resistencia a corte de la mampostería.

- De la técnica de rehabilitación de la mampostería con malla electrosoldada aplicada por las dos caras de la pared se puede decir que presenta un buen comportamiento, ya que recupera en un 90% de la rigidez inicial; el enchape es el encargado de absorber la carga lateral aplicada y la capacidad resistente de la pared aumenta hasta 33.77 t. lo que representa el 157 % de la carga lateral de ruptura de la mampostería sin reforzamiento.
- Existe una pérdida de rigidez rápida en el primer cuarto del ensayo en la mampostería agrietada reforzada, esto se debe a la presencia de la grieta de falla, la cual es amplia, y al aplicar carga lateral tiende a cerrarse, provocando deformaciones relativamente grandes lo que se traduce en pérdida de rigidez. Pasadas las 10 t de carga lateral la rigidez y su degradación se dan en proporciones similares a las que se producían en ausencia de refuerzo.
- La rigidez última presentada por la mampostería agrietada reforzada es menor a la rigidez última de la mampostería sin reforzamiento, esto se debe al gran aumento de deformación que admite la mampostería reforzada comparada con el primer estado.
- La rigidez presente en la mampostería reforzada nueva, debería ser mayor o por lo menos igual que la presentada en la original y en la agrietada reforzada, pero en la realización de los ensayos se obtuvieron valores similares en los tres casos. Esto se explica a que debido a las condiciones artesanales de construcción, las características como; estado de humedad de los mampuestos, la resistencia tanto del mortero de pega como del enchape de refuerzo y además la colocación del mismo en la pared pueden haber variado, afectando el resultado.



- La rehabilitación con el enchape y malla electrosoldada en la mampostería cambió su comportamiento durante la realización del ensayo, puesto que, las grietas en la diagonal de la pared no son frágiles como en el primer estado y se presentan de un forma gradual. Además admitió deformaciones mucho más grandes, de hasta 27.68 mm
- La falla por flexión en la mampostería agrietada reforzada se presenta en la misma zona que en la mampostería sin reforzamiento, y al igual que en el caso anterior tiende a cerrarse al aumentar la carga axial, pero en esta ocasión se presenta con una carga lateral de 14.8 t. esto es 2.5 veces la resistencia a flexión de la mampostería sin malla de refuerzo, lo que quiere decir que el enchape mejora sustancialmente el comportamiento de la mampostería también a efectos de flexión.
- Las grietas que se forman en la diagonal de la mampostería agrietada reforzada, tienden a presentarse en el mismo lugar y siguiendo la misma dirección de la grieta formada en el primer ensayo, es decir en la zona de más baja resistencia.
- Del análisis teórico de las propiedades mecánicas de la mampostería se obtuvo una resistencia del enchape de refuerzo de 43.8 t., y al realizar la experimentación la fuerza lateral máxima aplicada fue de 33.7 t., la razón principal por la cual la resistencia real fue menor, es por la separación del enchape de la mampostería al final del ensayo, como se puede apreciar en la fotografía No. 5.29.
- En la mampostería reforzada nueva, podemos apreciar un comportamiento combinado de los dos estados de la pared; el de la original y el de la pared rehabilitada con el enchape de refuerzo. La pérdida de rigidez no es rápida y es comparable con lo sucedido en el primer estado de la mampostería, la aparición de grietas es gradual como en la mampostería reforzada o segundo estado. La resistencia aumenta drásticamente hasta el valor de

52.4 t. admitiendo deformaciones mayores, hasta 41.7 mm. También se produce la separación del enchape de refuerzo de la mampostería, por tanto también ocurre una baja resistencia del enchape comparado con lo calculado.

- La resistencia máxima real producida en la mampostería reforzada nueva (52.4 t.) es similar a la suma de las resistencias reales últimas de los dos estados antes analizados cuyo valor es 54.71 t., lo que quiere decir que el principio de superposición de efectos es válido para el análisis en este caso.
- El enchape de refuerzo en la mampostería reforzada nueva también actúa como un confinamiento de las unidades de mampostería ya que al retirar dicho enchape se puede apreciar la total degradación de los ladrillos, en una zona de la diagonal de ancho aproximado promedio igual a 55 cm.
- Comparando la rigidez última presentada por los tres estados de la mampostería en análisis, podemos afirmar que en el primer estado (mampostería sin reforzamiento), se dio una rigidez de 1945 t./m, y en los otros dos estados (mampostería agrietada reforzada y mampostería agrietada reforzada) fueron de 1454 y 1918 t/m respectivamente, lo que demuestra la mayor velocidad de degradación de rigidez presente en el primer estado, ya que su deformación es la menor al igual que la carga lateral resistida
- La proporcionalidad con la que aumenta la carga vertical no depende de que si existe o no reforzamiento, tampoco del estado de la mampostería, es una proporcionalidad con la deformación lateral, y se debe en gran parte al efecto de volcamiento.
- La rehabilitación mediante el método aquí investigado, representa el 88.9% del costo de la mampostería, en tanto que, analizando el valor conjunto de toda la estructura, representa tan solo un 5% del valor total de la misma, y

la resistencia a la acción de cargas laterales de la misma mampostería aumenta en un 53.7% en una mampostería dañada y un 140% en una mampostería nueva bajo la acción de cargas laterales altas.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- La gran variabilidad de las características de las unidades de albañilería es un problema para constructores y diseñadores. Es prioridad una regulación exigente sobre la elaboración artesanal de ladrillos, teniendo en cuenta el problema social que puede ocurrir en zonas eminentemente ladrilleras, ya que este material de construcción es utilizado por personas de escasos recursos económicos y sin dirección técnica alguna, es así que garantizando la calidad de los materiales de construcción es un paso muy grande dentro de las construcciones de mampostería.
- El espesor de las hiladas debe determinarse en función de la variabilidad de la unidad de mampostería, debido a que espesores de mortero excesivos reducen la resistencia a compresión de la mampostería, y juntas de mortero muy pequeñas reducen su resistencia a la tracción. La literatura técnica recomienda espesores de junta de mortero entre 9 y 12 mm.
- *“Una prueba muy sencilla para determinar la succión de las unidades consiste en trazar, con un lápiz una circunferencia de 25 mm de diámetro en la cara de asiento de la unidad de albañilería, luego se vierte veinte gotas de agua dentro del círculo, lo más rápido posible, si después de terminado el goteo, el agua es absorbida en un minuto y medio o más, la unidad de albañilería no debe humedecerse, si absorbe en menos de un minuto y medio, debe humedecerse para reducir la succión”<sup>34</sup>.*

---

<sup>34</sup> Gallegos, H, (1991), Albañilería Estructural, Segunda Edición, Lima, Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

- La logística del ensayo realizado es un tanto compleja por los efectos de volteo que provoca la carga lateral aplicada y en este caso la excentricidad de aplicación de la carga axial vertical, además, por la naturaleza de la mampostería a investigar es imposible realizar un empotramiento en la base de la pared, por lo tanto para reducir los efectos de volteo es importante la simetría de aplicación de la carga axial aplicada.
- La mampostería en nuestro medio varía bastante en sus características y materiales, por ejemplo; la relación con que se dosifica el mortero de pega y/o los materiales utilizados para el mismo, así como también las unidades de mampostería, estas características pueden modificar el comportamiento del reforzamiento aquí propuesto, de ahí que se recomienda realizar pruebas del mismo reforzamiento sobre mampostería de diferente características y materiales.
- Para la colocación de la malla de refuerzo y que ésta presente un buen comportamiento, es imprescindible que tenga recubrimiento de mortero por los dos lados, es decir que esté embebida dentro del mortero de enchape, se la debe separar por lo menos 1 cm de la mampostería propiamente dicha.
- Debido a la separación del enchape de refuerzo de la mampostería en la parte final de la realización del ensayo, no se logró comprobar los resultados obtenidos del análisis teórico de las propiedades mecánicas del mismo, por lo tanto una recomendación es probar otro tipo de conectores de la malla de refuerzo, ubicados principalmente en los extremos de la pared a ensayar.
- Antes de realizar la rehabilitación de la mampostería con malla electrosoldada, se puede probar con varios aditivos o pastas para cerramiento de grietas disponibles en el mercado, para así tratar de que la mampostería propiamente dicha pueda absorber algo de los esfuerzos por corte.

- Para futuras investigaciones, y a fin de poseer datos que representen de mejor forma el comportamiento de la mampostería ante cargas laterales, se sugiere ubicar LVDT's o cualquier instrumento de medición de deformación en las diagonales de la pared.
- La aplicación de cargas laterales debe ser realizada en relación a un porcentaje de carga axial vertical calculado mediante las ecuaciones del *CEC*, y tomando en cuenta el factor de forma o relación ( $h/l$ ) de la mampostería, para de esta manera obtener una curva que relacione la Carga Muerta de la estructura con el Corte Basal calculado.
- Debido a la poca información disponible sobre el comportamiento de la mampostería no reforzada, y aún más, acerca del reforzamiento externo de este tipo de estructuras mediante la utilización de malla o cualquier otra clase de refuerzo, es menester realizar investigaciones aplicando distinto tipo de malla electrosoldada, lo cual puede abaratar costos y también adaptarse mejor a las solicitaciones presentes en diferentes tipos de edificaciones, así como también es necesario conocer la influencia del tipo de traba de las unidades de mampostería sobre su resistencia y comportamiento.
- La forma de la mampostería (relación  $h/l$ ), influye directamente en el tipo de falla de la mampostería, es así que para rangos distintos de esta relación se debe proponer la mejor forma de rehabilitación posible.
- Si bien es cierto la construcción con mampostería es considerada un arte que se aprende con los años, en especial a los nuevos profesionales les recomendamos ser críticos, investigar sobre este tema ya que en nuestro medio, en la gran mayoría de los casos este tipo de estructuras son construidas solo por maestros albañiles, los cuales pueden estar cometiendo errores sistemáticos que al igual que la construcción se van pasando de generación en generación.

La mampostería es uno de los materiales más antiguos de la humanidad, es en extremo noble y de gran belleza, sus propiedades estructurales han sido demostradas a lo largo de la historia, las más grandes civilizaciones e imperios se construyeron colocando piedra a piedra y una a la vez, por tanto depende hoy con los grandes avances tecnológicos redescubrir y comprender su comportamiento.

## CAPITULO VIII

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American Concrete Institute, (2005). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentarios. (1<sup>ra</sup> ed julio 2005). Florida. ACI
2. American Standard Test Methods. (2008) Norma ASTM C 494/494M “Standard specification for chemical admixtures for concrete”. Estados Unidos. ASTM.
3. American Standard Test Methods. (2007) Norma ASTM C 270 “Standard specification for mortar for unit masonry”. Estados Unidos. ASTM.
4. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2001), MANUAL DE CONSTRUCCIÓN, EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN SISMO RESISTENTE DE VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA. Colombia, AIS
5. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (1998), NORMAS COLOMBIANAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE, NSR-98, Tomo 1, Colombia, AIS.
6. Bonett R., (2003), Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada. Tesis UPC, España.
7. Edifarm. (2004), Vademécum de la Construcción. (1<sup>ra</sup> ed.) Quito.
8. Gallegos, H, (1991), Albañilería Estructural, Segunda Edición, Lima, Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
9. Hendry, A.W. (1990). Structural Masonry. Macmillan Education Ltd. London.
10. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2001). CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN. (1<sup>ra</sup> ed.) Quito. INEN.

11. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2001).CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN (Subcapítulo de la Construcción con Mampostería Estructural).(1<sup>ra</sup> ed.) Quito. INEN.
12. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1979).NORMA INEN 255 “CONTROL DE CALIDAD PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO y TABLAS PARA LA INSPECCIÓN POR ATRIBUTOS.”. Quito. INEN.
13. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977).NORMA INEN 293 “LADRILLOS CERAMICOS DEFINICIONES, CLASIFICACIÓN Y CONDICIONES GENERALES”. Quito. INEN.
14. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977).NORMA INEN 294 “LADRILLOS CERAMICOS DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN”. Quito. INEN.
15. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1977).NORMA INEN 297 “LADRILLOS CERAMICOS, REQUISITOS”. Quito. INEN.
16. Jaramillo José O., (2005), Mampostería Estructural. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, (UNC).  
<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080020/Lecciones/Capitulo%203/MAMPOSTERIA%20ESTRUCTURAL.htm>
17. Naranjo, Francisco J., y Barahona Antonio F. (1997) Estado del Arte de la Investigación de Mampostería el Ecuador. Tesis E.P.N. Quito.
18. Neville Adam M., (2003), Tipo de Aditivos en la Construcción. Architects Site,  
<http://www.arqhys.com/construccion/aditivos-tipos.html>
19. Nuñez C., Carrillo L., (1987), Estudio de Mampuestos en la Industria de la Construcción (Bloques Industriales), Tesis EPN.Quito.
20. Ortiz Marcel, y Proaño Omar (2007), Ensayos a Carga Horizontal de Mamposterías Reforzadas con el Sistema Constructivo Fc Block, Tesis EPN, Quito



21. Paulay, T., y Priestley M., (1992), Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. Edited by Jhon Wiley Sons. INC
22. Resolución Ministerial N° 011-2006-Vivienda. (2006). Norma Técnica E.070 Albañilería. Lima.
23. Rivas J., (2006). Análisis de relación de aspecto de muros estructurales. Tesis, EPN, Quito.
24. Schneider R., Dickey W., (1980), Reinforced Masonry Design, Décima Edición, New Jersey, Prentice – Hall.
25. Serrano Andrea B., y Molano María A., Evaluación Sísmica de Mampostería no Estructural Mediante Listones de Madera. Tesis PUJ, Bogotá.  
<http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis125.pdf>.
26. Villacreces W., (1992), Modelación de Paneles de Mampostería en el Estudio Analítico de Edificios, Tesis EPN. Quito.
27. Zabala O., Zabala J., (2006), Rehabilitación de Mamposterías Agrietadas de Ladrillo Artesanal, Tesis PUCE, Quito.